

Фокин В.Г.

Оптические системы передачи и транспортные сети

Учебное пособие для студентов,
обучающихся по направлению
«Телекоммуникации»

Рекомендовано УМО по образованию в области телекоммуникаций в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям
21040165 «Физика и техника оптической связи»,
21040465 «Многоканальные телекоммуникационные системы»,
21040665 «Сети связи и системы коммутации»



Москва, 2008

УДК 621.391
621.395
621.396
ББК 32.88
Ф74

В.Г. Фокин

Ф74 Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. — М.: Эко-Трендз, 2008. — ___ с.: ил.

ISBN 978-5-88405-084-6

Изложены основные принципы построения оптических систем передачи, современное определение моделей оптических транспортных сетей с точки зрения Международного Союза Электросвязи (МСЭ), технологии мультиплексирования и сопряжения транспортных сетей. Рассмотрены различные виды сетевых элементов с оптическими и электрическими компонентами и архитектуры сетей на их основе, включая сети синхронизации и управления. Уделено внимание новейшим направлениям развития транспортных сетей на основе стандартов OTN-OTH, Ethernet, T-MPLS, автоматически коммутируемых сетей (ASON/ASTN) и т.д. Детально рассмотрены схемы защиты оптических транспортных сетей. Определены принципиальные подходы к проектированию. Все разделы учебного пособия содержат примеры и вопросы для самоконтроля.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Телекоммуникации». Также может быть полезно специалистам отрасли «связь», самостоятельно повышающим свою квалификацию.

ББК 32.88

ISBN 978-5-88405-084-6

© В.Г. Фокин, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное бурное развитие техники связи обусловлено ростом потребности общества в информационном обмене, с одной стороны, и достижениями в научно-техническом прогрессе, с другой. Существенная роль в этом развитии принадлежит технике оптической связи, основу которой составляют волоконно-оптические линии связи и устройства электронного и оптического мультиплексирования и коммутации. Многие достижения современной фундаментальной и прикладных наук находят в короткий срок применение в оптических устройствах, в системах связи и в сетевых решениях. Одна из важнейших задач развития отрасли связи состоит в подготовке высококвалифицированных специалистов. Эта подготовка осуществляется по ряду специальностей в высших учебных заведениях связи. Однако одной из проблем обучения будущих специалистов является недостаток учебно-методических изданий, в которых достаточно полно, методически последовательно и на высоком научном и инженерном уровне отражались бы достижения и перспективы развития техники связи. Различные издания, вышедшие за последние годы, только частично заполняют пробелы в информации учебного характера и эти издания очень быстро устаревают [2, 3, 4, 6, 8, 11, 13, 14, 51, 53, 56, 58, 59, 64–67]. Кроме того, выпущенная техническая литература в большей степени относится к научной и производственной и не всегда её содержание структурно удобно для учебных целей.

В предлагаемом учебном пособии нашли системное отражение наиболее существенные элементы научных и инженерных знаний по технике оптических транспортных сетей с точки зрения рекомендаций Сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи и, соответственно, производителей современных систем связи. Для лучшего усвоения учебного материала предлагаются: наглядные примеры, решения задач, контрольные вопросы и т.д. В основу материалов отдельных глав положены: курсы лекций, обработки научных статей и технических документов, справочные данные, международные стандарты и т.п. Содержание учебного пособия нацелено, прежде всего, на подготовку по специальностям «Физика и техника оптической связи» и «Многоканальные телекоммуникационные системы» и составлено с учетом стандартных программ этих специальностей. Кроме того, учебное пособие может быть полезно всем обучающимся в вузах по направлению «Телекоммуникации» и специалистам предприятий связи и отделам связи и телекоммуникаций различных ведомств. Учебное пособие рассчитано на подготовленных студентов и специалистов, т.е. знакомых с основами построения аналоговых и цифровых систем передачи, техникой микропроцессоров, электрическими и оптическими линиями связи в рамках соответствующих дисциплин вузов и коллежей телекоммуникаций.

Также учебное пособие предназначено специалистам, повышающим свою квалификацию в специализированных учебных центрах, самостоятельно и в различных формах заочного образования (ускоренной, дистанционной).

ВВЕДЕНИЕ

Для уяснения смысла и задач, решаемых средствами оптических и, прежде всего, волоконно-оптических систем передачи и транспортных сетей, ниже рассматривается общая архитектура современных телекоммуникаций (рис. 1).

Плоскость компонентов можно считать фундаментальной, так как решения для нее во многом определяют возможности технической реализации выше лежащих плоскостей.

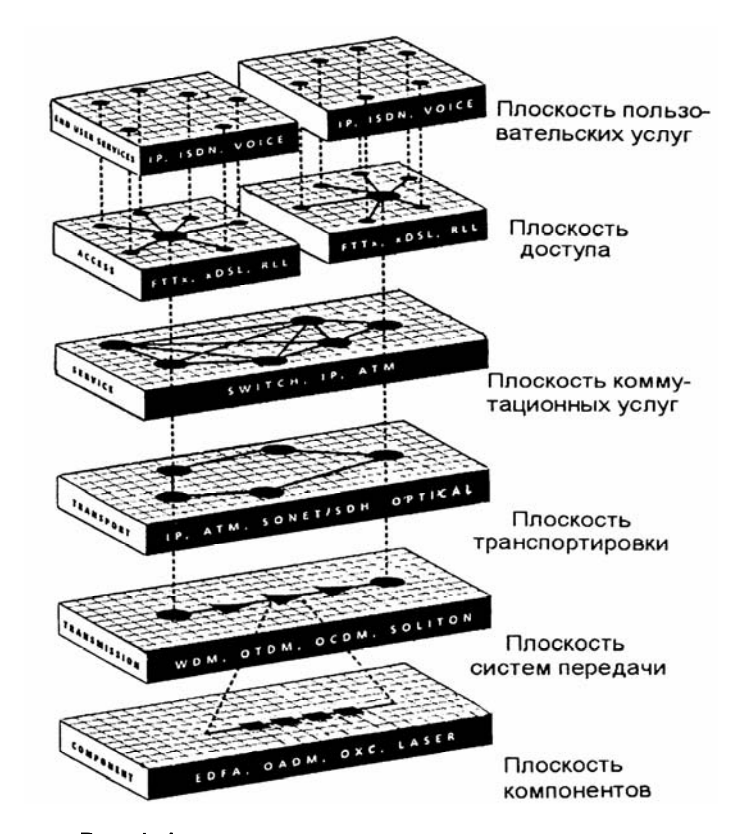


Рис. 1. Архитектура телекоммуникационных систем

Современные компоненты для построения телекоммуникационных устройств имеют большую номенклатуру. Условно их можно разделить на электрические и электронные, оптоэлектронные, оптические и программные.

К электрическим и электронным компонентам относятся: металлические кабели и провода; транзисторы и интегральные микросхемы (аналоговые и цифровые) с разной степенью интеграции; микропроцессоры; усилители; регенераторы электрических сигналов и многие другие. В настоящее время электронная часть этой базы испытывает новый этап совершенствования, связанный с внедрением кремниевых и арсенид-галиевых гетероструктур и уменьшением габаритов отдельных транзисторов до нанометровых размеров, что позволяет повысить быстродействие схем, уменьшить габариты устройств и сократить энергопотребление. При реализации схем чаще всего уделяется вни-

мание процедурам параллельных преобразований двоичных данных в векторно-конвейерных структурах.

Оптоэлектронные и оптические компоненты и модули на их основе получили особенно широкое применение за последнее десятилетие в технике телекоммуникаций. Среди них выделяются следующие группы изделий: стекловолоконные световоды с возможностью передачи данных на скоростях от десятков гигабит в секунду до десятков терабит в секунду; высокостабильные полупроводниковые и волоконные лазеры (LASER), включаемые в состав передающих оптических модулей; высокочувствительные фотодетекторы, входящие в состав приемных оптических модулей; легированные эрбием усилители на оптоволокне EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) и полупроводниковые оптические усилители с большими коэффициентами усиления (до 50дБ) и широкой полосой усиливаемых частот (от 5 до 10 ТГц); оптические коммутаторы и маршрутизаторы OXC (Optical Cross-Connect); мультиплексоры и демультиплексоры волновых и временных оптических сигналов OADM (Optical Add Drop Multiplexers); компенсаторы искажений оптических сигналов, вызванных хроматической и поляризационной модовой дисперсиями; оптические процессоры на основе фотонных кристаллов и многие другие, о которых говориться в предлагаемом учебном пособии и многочисленной литературе.

Программные компоненты и модули представляют собой алгоритмическое обеспечение для электрических и оптических устройств, в которых реализуются последовательные или параллельные процедуры обработки сигналов, например, цифровая фильтрация, кроссовая коммутация (переключение), выравнивание фаз цифровых данных при мультиплексировании, функции управления и т. д.

Необходимо подчеркнуть, что развитие компонентной базы определяется достижениями в фундаментальных научных исследованиях физических явлений и в области теории информации.

В плоскости систем передачи могут рассматриваться аналоговые системы с частотным мультиплексированием каналов, типовыми групповыми трактами, электрическими и радиорелейными линейными трактами. Роль этих систем постепенно снижается в современных сетях связи. Им на смену уже пришли более эффективные цифровые системы передачи плезиохронной цифровой иерархии — PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) и синхронной цифровой иерархии — SDH (Synchronous Digital Hierarchy) с волоконно-оптическими линейными трактами и автоматизированным обслуживанием. Стеклянные волокна волоконно-оптических кабелей позволяют постоянно совершенствовать передачу информационных данных. Так на смену одноволновой передаче оптических сигналов пришли системы мультиплексирования с разделением длин волн WDM (Wavelength Division Multiplexing), а электрическое мультиплексирование с разделением по времени дополнилось оптическим мультиплексированием с разделением во времени OTDM (Optical Time Division Multiplexing) и оптическим мультиплексированием с кодовым разделением сигналов OCDM (Optical Code Division Multiplexing).

Применение солитонной передачи (SOLITON) может решить проблему дисперсионных искажений, ограничивающих дальность передачи в системах WDM, OTDM, OCDM.

Системы передачи оснащаются средствами эффективного контроля, управления, резервирования участков передачи. В структуре систем передачи выделяются оконеч-

ные и промежуточные станции, которые объединяются в секции передачи: регенерации, усиления, мультиплексирования. При этом каждая секция может иметь встроенные средства обслуживания. Системы передачи являются составной частью транспортной сети связи, которая представлена отдельной плоскостью.

При этом транспортная сеть определяется как совокупность ресурсов систем передачи, относящихся к ним средств контроля, оперативного переключения, резервирования и управления, предназначенных для переноса информации между заданными пунктами сети. Транспортные сети строятся на основе стандартов, принятых Сектором стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи МСЭ-Т (ITU-T — International Telecommunications Union — Telecommunication Standartization Sector). Этими стандартами определены технологии построения как систем передачи, так и транспортных сетей связи:

– синхронная цифровая иерархия SDH и синхронная оптическая сеть SONET (Synchronous Optical Network);
– асинхронный режим передачи ATM (Asynchronous Transfer Mode);
– технология Ethernet для передачи пакетов данных, образуемых по протоколам межсетевого взаимодействия IP (Internet Protocol) и по протоколам MPLS (Multi-Protocol Label Switching) — многопротокольной коммутации по меткам;
– оптическая технология мультиплексирования с разделением длин волн WDM, представляемая оптической транспортной иерархией OTH (Optical Transport Hierarchy).

Все технологические решения по транспортировке имеют проработанную протокольную архитектуру и могут быть увязаны между собой на основе единых аппаратных и программных точек взаимодействия — интерфейсов МСЭ-Т.

Основным предметом внимания в плоскости транспортировки выступают коммутируемые электрические и оптические тракты и каналы, образуемые на основе секций мультиплексирования систем передачи. Плоскость транспортировки, кроме того, предусматривает проработанные решения по автоматизированному созданию, вводу в эксплуатацию, контролю и защите трактов и секций с физическими и виртуальными каналами, создание таблиц маршрутизации для трактов и каналов, их контроля и управления.

В плоскости транспортировки реализуются принципиальные решения по тактовой сетевой синхронизации и управлению, принятые МСЭ-Т для обеспечения требуемого качества услуг транспортных сетей. Услуги транспортной плоскости напрямую отражаются в плоскость коммутации через соответствующие стандартные точки взаимодействия — интерфейсы.

Плоскость коммутации обращена непосредственно к потребителям телекоммуникационных услуг. Возможные услуги могут быть представлены средствами коммутации каналов (Switch), например, телефонными коммутаторами, средствами коммутации пакетов данных различной величины (в сетях передачи данных и компьютерных сетях IP), средствами быстрой коммутации ячеек пакетов фиксированной длины 53 байта в сетях с асинхронным режимом передачи ATM.

Реализация возможностей по коммутационной плоскости происходит в основном благодаря средствам сигнализации, например, сигнализации по выделенному каналу № 7 (ОКС № 7).

Именно плоскость коммутационных услуг является базовой для создания интеллектуальных сетей, баз данных услуг и их технической и экономической доступности для пользователей. Функционирование коммутационных узлов определяет нагрузку (трафик) для транспортных сетей и их соответствующее развитие.

Одной из самых проблемных и динамично развивающейся частей современных телекоммуникаций является доступ терминалов пользователей к узлам предоставления услуг. При этом наблюдаются следующие тенденции развития доступа:

– использование существующей инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам средствами модемов цифровых абонентских линий xDSL (Digital Subscriber Line) в разновидностях симметричных, асимметричных и высокоскоростных линий (HDSL, ADSL, VDSL), в которых могут передаваться сигналы на скоростях от десятков кбит/с до десятков Мбит/с (64 кбит/с — 50 Мбит/с) на относительно небольших расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;
– использование технологий: «волокно в дом», «волокно в распределительный шкаф», «волокно в офис» и т. д., обозначаемых FTTx (Fiber To The Home,…), например, пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network), основанных на сети волоконно-оптических линий, для организации доступа к любым видам услуг;
– использование технологий радиодоступа RLL (Radio Local Loop) для фиксированного и мобильного, узкополосного и широкополосного доступа с разделением радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, кодовым разделением, пакетной передачей; пример последнего — технология WiMAX.

Плоскость пользовательских услуг отражает все известные и востребованные услуги электросвязи, к которым относятся: телефония с коммутацией каналов и IP-телефония (Voice), видеосвязь, видеоконференции, Интернет, электронная почта, звуковое вещание, цифровое телевидение, телепутешествия и т.д. Для реализации услуг необходимы различные терминалы для пользователей. Это и обычные телефонные аппараты, теле- и радиоприемники, терминалы сетевых подключений цифровых сетей с интеграцией услуг (ЦСИУ) или служб (ЦСИС) — ISDN (Integrated Services Digital Network), персональные компьютеры и т. д.

Предметом изучения в предлагаемом учебном пособии являются: оптические и электронные компоненты; оптические системы передачи; технологии мультиплексирования и сопряжения оптических транспортных сетей, принципы построения сетевых элементов транспортных сетей в увязке с сетями синхронизации и управления, автоматически коммутируемые оптические сети. Кроме того, рассматриваются необходимые этапы проектирования транспортных оптических сетей.

Глава 1

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

1.1. Определение системы передачи

Под системой передачи в Единой Сети Связи (ЕСС) России принято понимать комплекс технических средств, обеспечивающих образование линейного тракта, типовых групповых трактов и каналов передачи первичной сети. При этом линейными трактами называют комплекс технических средств, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи. В зависимости от среды распространения линейный тракт называют кабельным (волоконно-оптическим, электрическим), радиорелейным, спутниковым или комбинированным, а по типу системы передачи — аналоговым или цифровым.

Тракт групповой представляет собой комплекс технических средств, предназначенный для передачи сигналов электросвязи нормализованного числа каналов тональной частоты (КТЧ) или основных цифровых каналов (ОЦК) в полосе частот или со скоростью передачи, соответствующей данному групповому тракту. В зависимости от нормализованного числа каналов групповой тракт называют первичным, вторичным, третичным, четверичным или N-м групповым трактом.

В системах передачи под каналом передачи принято понимать комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в определенной полосе частот (например, КТЧ 0,3...3,4 кГц) или с определенной скоростью передачи (например, ОЦК 64 кбит/с) между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также между сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети. Каналы подразделяются на аналоговые и цифровые. Для их согласования применяются аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП). В зависимости от скорости передачи сигналов электросвязи цифровой канал называют основным (ОЦК), первичным (ПЦК), вторичным (ВЦК), третичным (ТЦК), четверичным (ЧЦК) [1].

Для полноты используемых терминов ниже приводится ряд определений.

Узел сетевой — комплекс технических средств, обеспечивающий соединение сетевых станций первичной сети, образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей, а также предоставление их вторичным сетям.

Узел может быть магистральным, внутризоновым или местным, а в зависимости от объема выполняемых функций — сетевым узлом переключения или выделения (ввода).

Станция сетевая — комплекс технических средств, обеспечивающий образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит.

Совокупность линейных трактов систем передачи и (или) типовых физических цепей, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения в пределах действия устройств обслуживания называют *линией передачи*. В зависимости от первичной сети, к которой принадлежит линия передачи, её называют магистральной, внутризоновой или местной.

Цифровые волоконно-оптические системы передачи являются основой для построения транспортной сети связи Российской Федерации.

Под *транспортной сетью* принято понимать совокупность ресурсов систем передачи (каналов, трактов, секций или участков передачи), относящихся к ним средств контроля, оперативного переключения, резервирования и управления, предназначенных для переноса информации между заданными пунктами. Составной частью транспортной сети являются сети синхронизации и управления, определения которых также приведены ниже.

Сеть синхронизации образуется совокупностью тактовых генераторов, взаимодействующих в определённом порядке, систем распределения синхросигналов и самими синхросигналами.

Сеть управления — специальная сеть, обеспечивающая управление сетью электросвязи и её услугами путем организации взаимосвязи с компонентами сети электросвязи (сетевыми станциями и сетевыми узлами) на основе единых интерфейсов и протоколов, стандартизированных МСЭ-Т и другими организациями.

Волоконно-оптические и атмосферные оптические системы передачи активно используются в транспортных сетях и в сетях доступа для передачи аналоговых и цифровых сигналов.

1.2. Обобщенная схема оптической системы передачи

На рис. 1.1 представлена обобщенная схема оптической системы передачи, в которой блоками отображены возможные виды оборудования систем передачи.

Мультиплексор — устройство, обеспечивающее объединение нескольких независимых каналов на передаче и их разделение на приеме. Мультиплексор объединяет как электрические аналоговые, так и цифровые каналы. Основным аналоговым каналом является канал тональной частоты со спектром 0,3…3,4 кГц. Могут быть аналоговые каналы и с другими характеристиками, например, типовые: первичные (60…108 кГц), вторичные (312…552 кГц), третичные (812…2044 кГц) и специальные: звуковое вещание в спектре 0,03…15 кГц; телевизионные в спектре 0,05 кГц…6,5 МГц.

Цифровые каналы также имеют определенные стандарты скоростей передачи данных. Основной цифровой канал 64 кбит/с формируется на основе импульсно-кодовой модуляции ИКМ (дискретизация тонального сигнала во временном интервале 125 мкс и восьмиразрядное кодирование). Другие цифровые каналы определены следующим образом:

– первичный цифровой канал — 2 048 кбит/с;
– вторичный цифровой канал — 8 448 кбит/с;
– третичный цифровой канал — 34 368 кбит/с;
– четверичный цифровой канал — 139 264 кбит/с [1].

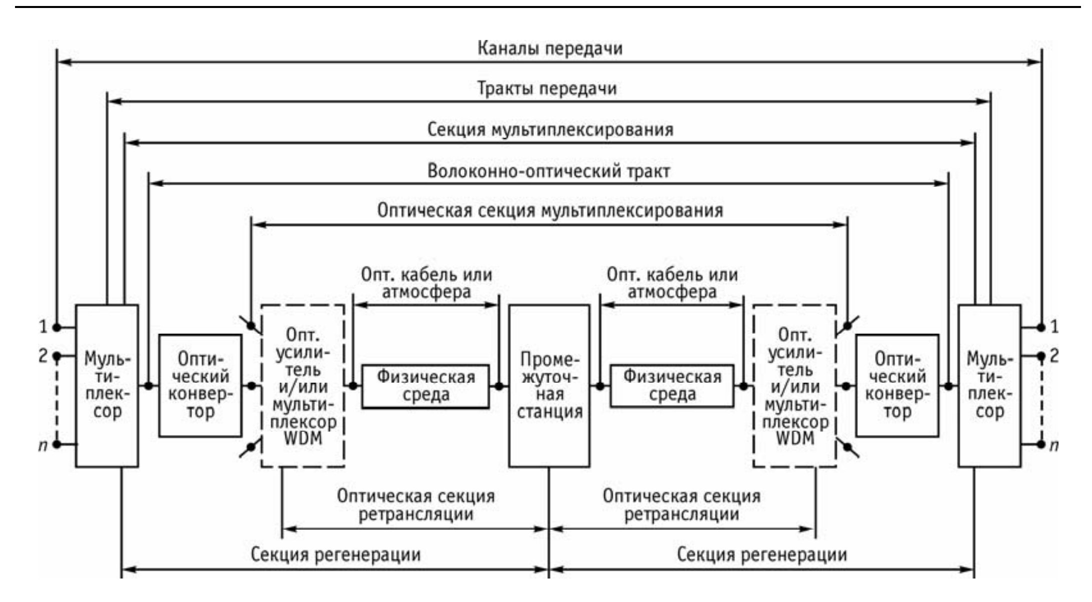


Рис. 1.1. Обобщенная схема оптической системы передачи

В аналоговых и цифровых каналах могут передаваться информационные сигналы с соответствующим спектром или скоростью данных. Процедуры преобразования аналоговых сигналов в цифровые и наоборот подробно обсуждаются в [6, 7].

В оптических системах передачи основное применение получили цифровые мультиплексоры, т.к. образуемые ими групповые сигналы представлены в двоичном коде, который придает высокую помехоустойчивость передаваемой информации. Однако в коротких линиях оптической связи применяются и аналоговые методы мультиплексирования, например, телевизионных каналов для сетей кабельного телевидения [11].

Широкое распространение получили электронные цифровые мультиплексоры технологий PDH, SDH, ATM.

В 2001–2007 годах МСЭ-Т принял ряд новых стандартов на цифровое мультиплексирование и передачу по волоконным линиям. Это стандарт оптической транспортной иерархии OTH и стандарт оптической передачи Ethernet [18, 36–41].

Мультиплексирование также может быть реализовано для оптических каналов (аналоговых и цифровых). Аналоговые оптические мультиплексоры позволяют объединять/делить определенное количество каналов, образованных на различных оптических несущих частотах в окнах прозрачности одномодовых оптических волокон. Например, в третьем окне прозрачности (1530–1565 нм) определено местоположение 41 оптического канала в полосе волн от 1528,77 нм до 1560,61 нм с интервалом не более 2 нм, согласно рекомендации МСЭ-Т G.692. Такой вид мультиплексирования получил название мультиплексирование с разделением по длине волны — WDM.

Цифровое оптическое мультиплексирование, называемое оптическим мультиплексированием с разделением по времени OTDM и кодовым делением OCDM, пока не получило широкого распространения из-за ряда технологических проблем реализации оптических мультиплексоров коротких импульсов. Однако OTDM может найти примене-

ние в оптических системах передачи с использованием оптических солитонов [8, 10], а OCDM — в пассивных оптических сетях доступа FTTx (PON).

Оптический конвертор, также называемый в литературе и технической документации *оптическим трансивером* или *медиаконвертором*, в системе передачи выполняет главные функции по преобразованию электрических сигналов в оптические на передаче и оптических в электрические с их регенерацией на приеме (рис. 1.2).

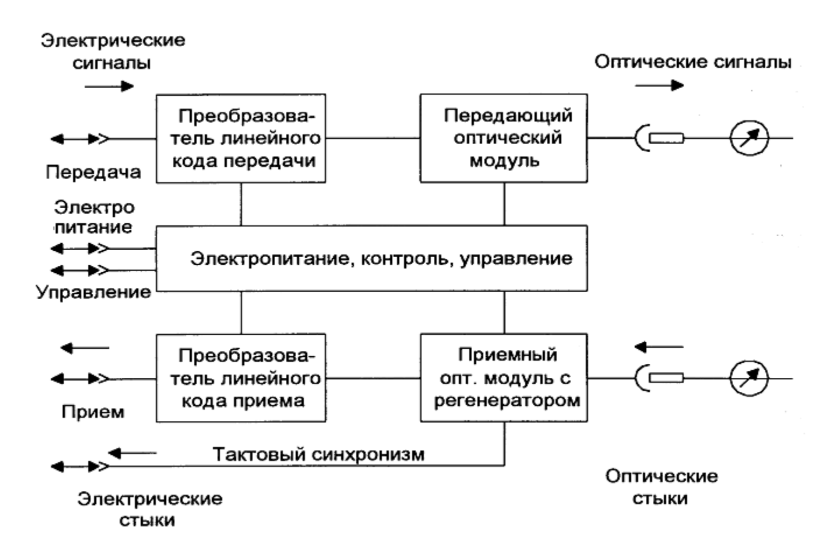


Рис. 1.2. Схема оптического конвертора

Преобразователь линейного кода цифрового сигнала формирует сигнал с повышенной помехоустойчивостью передачи. Передающий оптический модуль (ПОМ) обеспечивает модуляцию оптического излучения и стык с оптической средой (атмосферой или волоконной линией). Приемный оптический модуль (ПрОМ) преобразует оптическое излучение в электрический сигнал, производит коррекцию искажений, усиление и регенерацию цифрового сигнала. При этом выделяется тактовая частота, которая используется для синхронизации приемной части мультиплексора с целью правильного демультиплексирования каналов.

Функции конвертора полностью контролируются и могут быть управляемыми благодаря встроенным средствам, например, микроконтроллерам.

Современные решения по оптическим конверторам представляют собой интеграцию функций, т.е. оптические трансиверы выполняются в виде сложных интегрированных модулей, в которых реализуются функции оптических передатчиков и приемников, мультиплексоров и демультиплексоров электрических и оптических сигналов, контрольные функции оптических и электрических каналов. Такое исполнение трансиверов оправдано экономически, т.к. в этом исполнении нет необходимости согласовывать разнообразную продукцию различных поставщиков.

Пример структуры модуля оптического трансивера компании Интел представлен на рис. 1.3. В эту структуру включаются следующие электронные и оптические компоненты:

– одномодовые лазеры с перестройкой частоты (до 8 или 16);
– модуляторы излучения (электроабсорбционные, электрооптические или Маха-Зендера);
– фотодиоды конструкций p-i-n или лавинные (ЛФД) — APD (Avalanche-Photodiode);
– электронные усилители фототока: трансимпедансные (ТИУ) или интегрирующие (ИУ);
– мультиплексоры/демультиплексоры цифровых сигналов с восстановлением тактового синхронизма;
– процессор тестирования и контроллер передачи;
– другие компоненты.

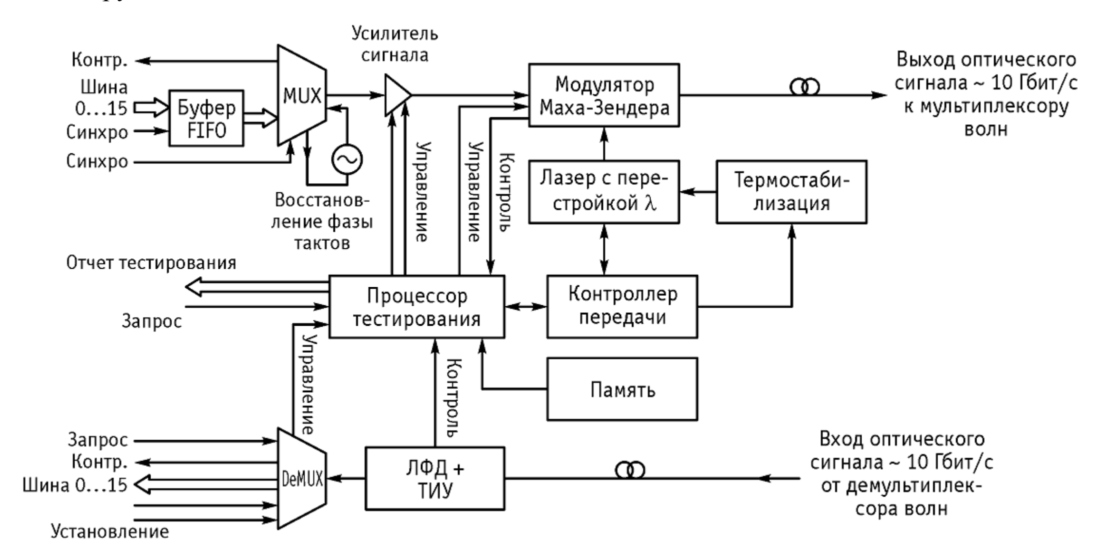


Рис. 1.3. Общая структура трансивера компании Интел

В состав модуля трансивера могут входить до 8 или 16 отдельных трансиверов, выходы которых с оптической стороны могут объединяться и разделяться волноводными решетками оптических мультиплексоров/демультиплексоров интегрального исполнения.

В состав системы передачи могут входить оптические усилители ОУс, которые позволяют увеличить мощность одноволнового или многоволнового сигнала на передающей стороне или повысить чувствительность приемника. Оптические усилители имеют хорошо согласованные характеристики с оптическими передатчиками, приемниками и волоконно-оптическими линиями.

На протяженных линиях, например, подводных линиях через океаны, возможно использование в составе аппаратуры солитонных блоков, исключающих применение промежуточных регенераторов [8].

Промежуточные станции системы передачи могут быть представлены различными устройствами: электронными регенераторами, оснащенными оптическими конверторами; электронными мультиплексорами с доступом к определенному числу каналов; оп-

тическими усилителями, служащими для ретрансляции оптических сигналов, оптическими мультиплексорами с формированием доступа к отдельным оптическим каналам. В состав мультиплексоров промежуточных станций могут входить электрические и оптические кроссовые коммутаторы.

Цифровые оптические системы передачи, как правило, снабжены средствами телеконтроля и управления, что позволяет контролировать работу всех компонентов системы передачи и быстро ликвидировать аварийные состояния. Электрические и оптические секции мультиплексирования и регенерации (ретрансляции) определяются как участки системы передачи с отдельным встроенным контролем и управлением.

Физические среды оптических систем передачи могут быть представлены стекловолокном, пластиковым волокном, фотонно-кристаллическим волокном и атмосферой [2, 3, 4, 61, 62, 63]. Благодаря очень малым потерям оптической мощности и малым искажениям сигналов основное применение в системах передачи получили стеклянные волоконные световоды, которым в учебной и научной литературе уделено очень много внимания [2–5, 8, 10, 59, 60]. Пластиковые и фотонно-кристаллические волокна имеют ограниченное использование и в основном в опытных системах, и их использование в транспортных сетях не замечено. Атмосфера в качестве среды передачи может использоваться на коротких участках (обычно не более 3 км) как альтернатива оптическому кабелю, для которого могут быть сложными условия прокладки или подвески. При этом достижимая скорость передачи не превышает 155 Мбит/с.

Детальное описание оптических компонент (лазеров, фотодетекторов, оптических усилителей, оптических коммутаторов, компенсаторов дисперсии, модуляторов оптического излучения, оптических фильтров, линейных кодеров и декодеров, оптических регенераторов 2R и 3R, и т.д.) можно найти в уже перечисленной литературе, в периодических научных изданиях, в Интернете.

1.3. Принципы построения аппаратуры оптических систем передачи и транспортных сетей

Общая структура аппаратуры (на примере оборудования SDH) транспортных сетей представлена на рис. 1.4. В этой структуре предусмотрены:

– агрегатные (линейные) интерфейсы, в которых определены характеристики оптических передатчиков и приемников;
– функции подстройки указателей TU и AU, мультиплексирование/демультиплексирование стандартных блоков в TUG, AUG и STM-N для аппаратуры SDH;
– кроссовые компоненты (матрица коммутации цифровых сигналов, оптический коммутатор волновых каналов и оптических пакетов) для переключений электрических и оптических трактов с целью реализации транзита в узлах, выделения и ввода цифровых потоков и волновых каналов, защитных переключений в соединениях и т.д.;
– канальные (пользовательские) интерфейсы, предоставляемые для загрузки/выгрузки цифровых данных различным пользователям транспортной сети (электронные АТС, коммутаторы Ethernet и т.д.);

– локальное и сетевое управление с поддержкой функций интерфейсов F (RS-232) и Q (G.773), каналов передачи данных управления и протокольных наполнений;
– тактовая сетевая синхронизация с возможностью программирования приоритетов выбора синхросигналов и портов их ввода, например, порт T3, или линейные порты, или компонентные порты E1, а также вывода синхросигнала в порт T4;
– сигнализация обслуживания для световой и звуковой индикации аномальных состояний в корзине оборудования, на стойке, в ряде и т.д.;
– электропитание аппаратуры осуществляется от источников питающих напряжений 48 В и 60 В.



Рис. 1.4. Общая структура аппаратуры транспортных сетей

Ряд устройств аппаратуры могут дублироваться с целью повышения надежности. Обязательное резервирование обеспечивается кроссовым коммутаторам (100% — резерв, обозначаемый 1+1 или 1:1), устройствам тактовой синхронизации, в некоторых применениях резервируются линейные (агрегатные) интерфейсы, пользовательские интерфейсы, электропитание. Частичное резервирование для пользовательских интерфейсов осуществляется, например, в режиме 1:2, 1:3, 1:4 и т.д., т.е. на несколько физических окончаний одно резервное. Резервирование предполагает автоматическое переключение за время не более 50 мс, что сохраняет в большинстве случаев установленные соединения в сети.

Общая структура, представленная на рис. 1.4 пригодна для описания любого вида аппаратуры, например, терминального мультиплексора, мультиплексора ввода/вывода цифровых потоков, узла кроссовой коммутации и даже регенератора. При этом исполнение аппаратуры может быть в нескольких видах, например, универсальный мультиплексор в широкой корзине с рядами посадочных мест — слотов, компактный мультип-

лексор на 1–2 платах в корпусе, миниатюрный мультиплексор, размещенный на одной плате без корпуса, называемый *микромультиплексором*.

Для каждого исполнения мультиплексоров определен набор функций. Наибольшие возможности, т.е. максимальный набор функций, обеспечивается в универсальном исполнении мультиплексора, где на базе корпуса (корзины) можно реализовать:

– терминальный мультиплексор;
– мультиплексор доступа (ввода/вывода) к отдельным цифровым потокам высокого и низкого порядков;
– кроссовый коммутатор с возможностями любых перекрестных соединений трактов высокого и низкого порядка;
– регенератор линейного сигнала или оптического усилителя.

Указанные обстоятельства способствовали наиболее широкому использованию универсальных мультиплексоров на сетях связи местного, регионального и магистрального назначений.

Компактные мультиплексоры также широко используются в сетях связи, но местного и специального назначения, например, в сетях доступа, технологических сетях трубопроводного, железнодорожного транспорта и т.д. В компактных мультиплексорах в основном повторимы функции универсальных мультиплексоров, но с существенными ограничениями, например, по числу пользовательских и агрегатных портов, по коммутационным возможностям матриц кроссовой коммутации и т.д.

Одноплатное исполнение бескорпусных мультиплексоров предназначено для решения ограниченных задач по транспортировке цифровых потоков. Эти мультиплексоры встраиваются в различное телекоммуникационное оборудование, например, в концентраторы и коммутаторы ATM, в коммутаторы Ethernet, в персональные компьютеры (рабочие станции). Основная задача, решаемая микромультиплексорами, заключается в высокоэффективной передаче по соответствующей линии (оптической, медной или радио) информационных сообщений. При этом может зафиксироваться минимальное число ошибок передачи, обеспечиваться защита передачи, высокая скорость и устойчивый тактовый синхронизм.

Для создания различных сетевых элементов на основе универсального мультиплексора требуется ограниченное количество функциональных компоновочных блоков. Известны три основных вида компоновочных блоков: сменные функциональные блоки, соединительные интерфейсы и полки (корзины) оборудования.

Функциональные возможности сетевого элемента в основном определяются сменными блоками. К этим блокам относятся: агрегатный и пользовательские интерфейсы, коммутационные матрицы, процессоры указателей, генераторы текстовых последовательностей, блок доступа к заголовку, блок питания.

Соединительные интерфейсы предназначены для установления соединений с внешними устройствами. Они могут содержать электронику для защитных переключений. Соединительные интерфейсы выполняются под инфраструктуру потребителя ресурсов транспортной сети. Например, это могут быть коаксиальные или симметричные интерфейсы на основе медных проводников, также это могут быть и волоконно-оптические интерфейсы для пользовательских возможностей на STM-1, STM-4, STM-16. К соединительным интерфейсам также относятся интерфейсы служебной связи, сигнализации, синхронизации, управления.

Полки (корзины) оборудования могут выполняться одно- и двухрядными с различной емкостью сменных блоков. При этом посадочные места сменных блоков могут быть универсальными или жестко программируемыми, закрепляемыми.

Сменные блоки и соединительные интерфейсы в полке связаны шинной структурой, пример которой для аппаратуры SDH приведен на рис. 1.5.

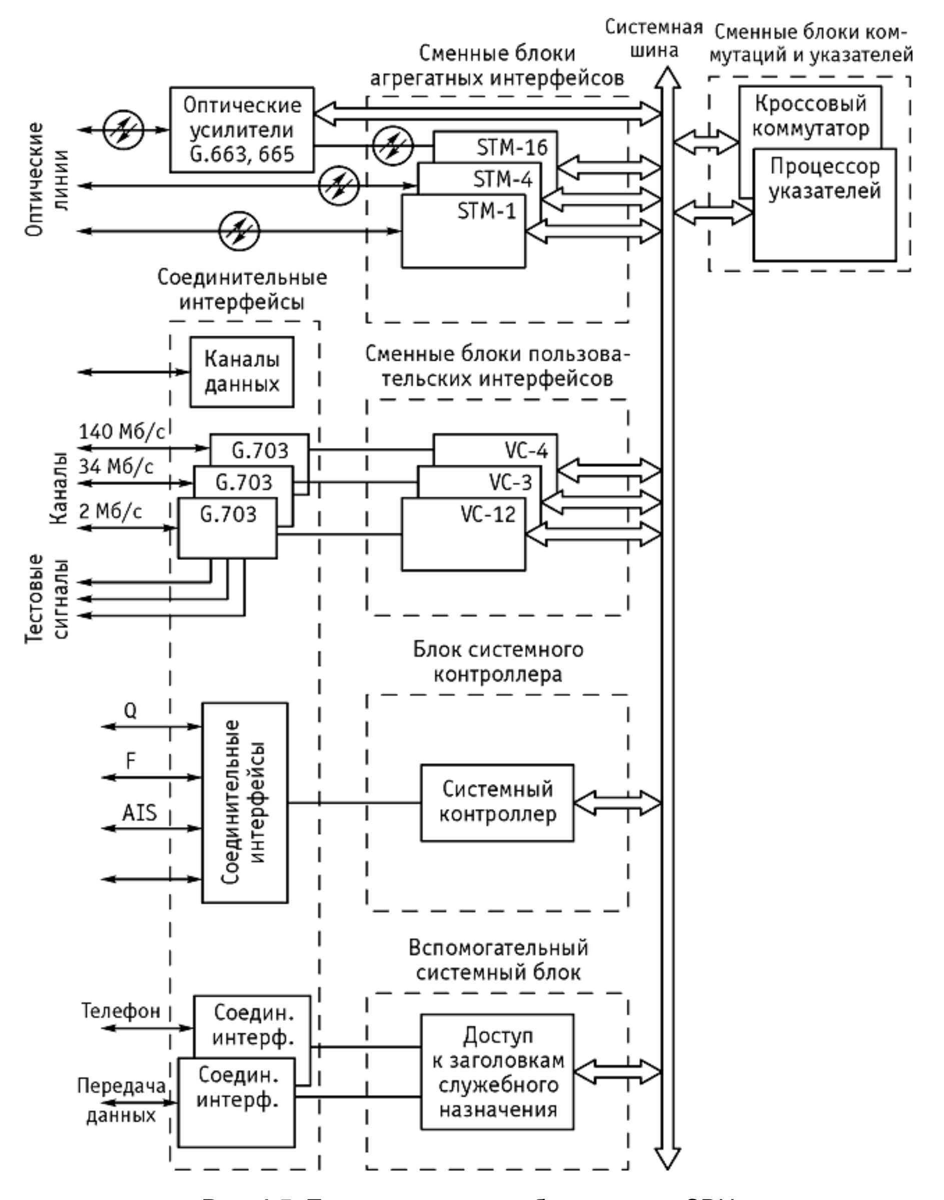


Рис. 1.5. Пример структуры оборудования SDH

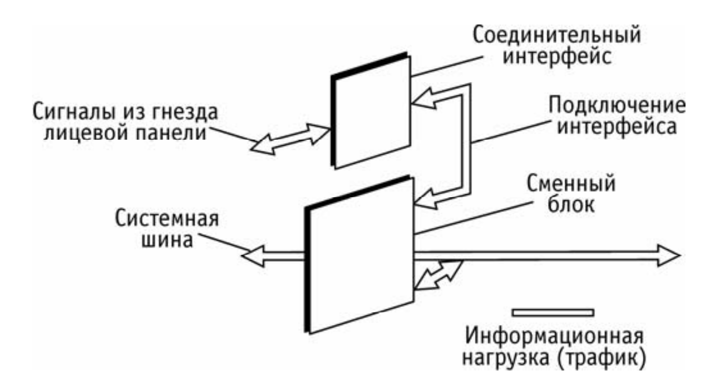


Рис. 1.6. Соединения плат в корзине оборудования

Шинной архитектуре соответствует соединение плат в корзине оборудования, как показано на рис. 1.6.

Таким образом, аппаратура транспортных сетей строится по модульному принципу. В каждом модуле реализуются определенные функции схемы мультиплексирования SDH, OTH, ATM, Ethernet, контроля, обслуживания, оперативного переключения, электропитания, сигнализации, управления. Кроме того, модульная структура однозначно вписывается в архитектуру оптической транспортной сети, представленную в главе 2.

Электронные процессоры-контроллеры являются основными и обязательными элементами сменных блоков аппаратуры. Например, основной контроллерный блок в аппаратуре SDH выполняет две основные функции:

– управление и контроль сменного блока;
– обработка и пересылка пакетов канала служебной связи для управления сетью.

Первая функция характерна для всех сменных блоков. Вторая функция используется только в блоках, где имеются синхронные интерфейсы с формированием/расформированием STM-N. Очень часто исполнение этих функций возлагается на различные процессоры. На рис. 1.7 приведен пример построения модуля контроллера, который выполняет следующие задачи:

– конфигурирует сменный блок и контролирует его;
– контролирует и регулирует функции сменного блока;
– производит самопроверку и диагностику отказов на плате и во всем контроллере;
– обеспечивает сопряжение с контроллером канала служебной связи при конфигурировании и загрузке программного обеспечения;
– производит измерение аналоговых сигналов (например, при передаче в оптическую линию или на приеме).

Основой контроллера является микропроцессор (например, MC68332). Кроме того, в контроллере размещаются различные виды электронной памяти:

– PROM, Programmable Read-Only Memory — стираемая энергонезависимая память для начальной загрузки;
– ROM, Read Only Memory — память программы с возможностью стирания;
– RAM, Random Access Memory — память с произвольным доступом, энергонезависимая память данных, статическая;

– EEPROM, Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory — электрически стираемая программируемая память (стирание по байтам), применяемая для соединительных интерфейсов;
– EPROM, Erasable Programmable Read-Only Memory — стираемая программируемая память

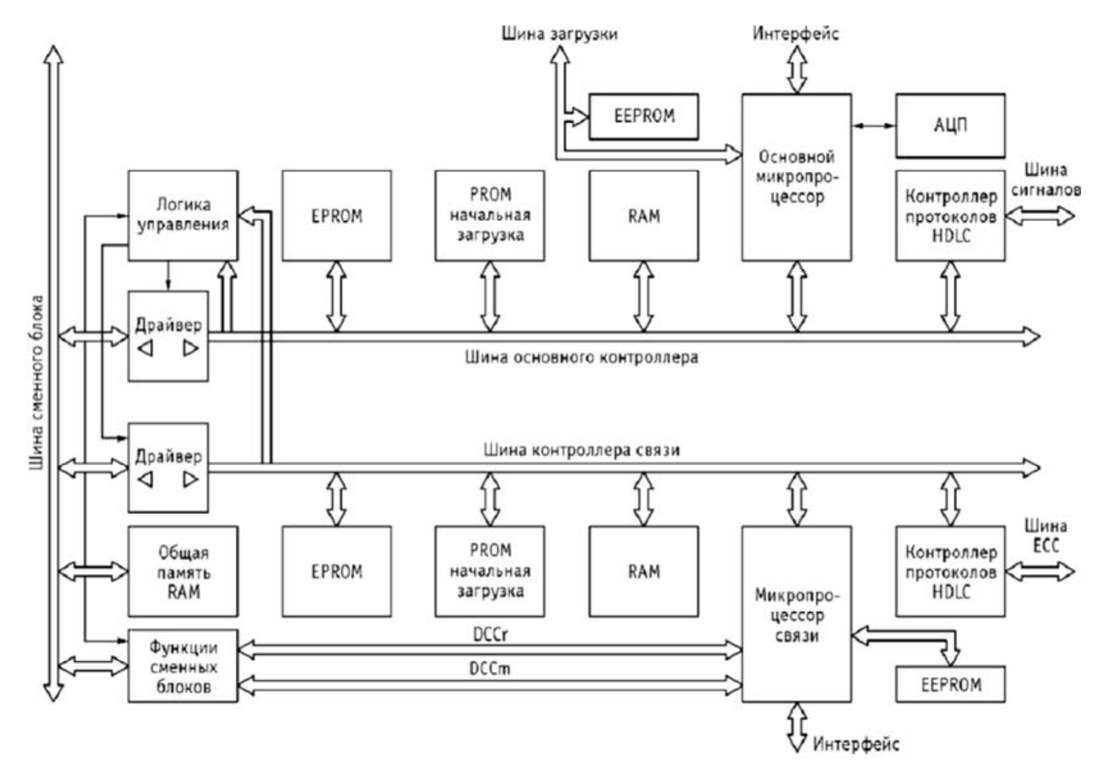


Рис. 1.7. Пример общей структуры контроллера

Устройства памяти в контроллере могут быть во время работы загружены новым программным обеспечением.

Контроллер связан с другими устройствами шинами. Разрядность шины данных динамически адаптируется процессором к разрядности шины данных соответствующей памяти. Для выбора памяти используются внутренние сигналы ($\overline{CS}$).

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) необходим для обработки аналоговых сигналов процессором. Например, когда необходимо фотоэлектрический сигнал на приеме измерить по амплитудному значению.

Основной микропроцессор и микропроцессор связи взаимодействуют между собой через общую память RAM и двух линий квитирования. Двунаправленные драйверы (обозначено треугольниками) предназначены для включения в работу шины сигналов и шины передачи данных. Для поддержки функций сетевого управления формируются шины каналов передачи данных:

DCCr, Data Communication Channel r — канал передачи данных для секции регенерации SDH

DCCm, Data Communication Channel m — канал передачи данных для секции мультиплексирования SDH.

Интерфейсы процессоров являются собственными средствами для устранения отказов, для загрузки программного обеспечения и тестирования аппаратных средств. Для поддержки служебных встроенных каналов управления систем передачи (ECC, Embedded Control Channel) предусматривается контроллер протоколов (HDLC, High-Level Data Link Control).

Важнейшей функцией каждого сменного блока является обработка тактовых сигналов. При этом реализуются функции:

– подстройка тактового сигнала;

– подстройка цикловой синхронизации;

– тактовая синхронизация.

Задача подстройки тактового сигнала генератора в сменном блоке состоит в том, чтобы синхронизировать тактовый сигнал этого генератора с задающим генератором всего оборудования. При этом выбирается качественный сигнал с устраненным фазовым дрожанием. Тактовый сигнал может иметь частоты 38,88 МГц, 77,76 МГц и другие. Цикловая синхронизация осуществляется с частотой 8 кГц. Эти такты синхронизированы с тактами 38,88 МГц или другими.

Контрольные вопросы

1. Что следует понимать под оптической системой передачи?
2. Какие компоненты различают в системах передачи?
3. Какое назначение имеют мультиплексоры в системе передачи?
4. Какие каналы образуются в системах передачи?
5. Чем отличаются каналы КТЧ и ОЦК?
6. Какое назначение имеют промежуточные станции в системах передачи?
7. Что используется в качестве физической среды передачи?
8. Почему стеклянные световоды нашли широкое применение в системах передачи и транспортных сетях?
9. Что следует понимать под транспортной сетью?
10. Какие сети электросвязи входят составной частью в транспортную сеть?
11. Какие электронные компоненты аппаратуры оптических систем передачи можно считать основными для цифрового мультиплексирования?
12. Какие оптические компоненты обеспечивают передачу и восстановление сигналов в волоконных световодах?

Глава 2

МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Учитывая динамичный рост потребностей в передаче информации, возрастание требований по качеству передачи, требований защищенности и управляемости соединений, МСЭ-Т разрабатывает и совершенствует стандарты на передачу информации в оптических системах. Одним из основных направлений деятельности МСЭ-Т стало принятие концепции построения транспортных сетей, опубликованной в виде рекомендации G.805, и разработки моделей транспортных сетей, базирующихся на волоконно-оптических и радиорелейных системах передачи. При этом основная роль отводится волоконно-оптическим системам. Описание моделей транспортных сетей, технологических схем мультиплексирования, интерфейсов, оборудования, управления, синхронизации и т.д. приводится в большом пакете рекомендаций МСЭ-Т серий G, Y, I, X и т.д. Эти рекомендации используются производителями оборудования и сетевыми операторами при проектировании, запуске и эксплуатации транспортных сетей.

В настоящее время транспортные сети строятся в соответствии с моделями (рис. 2.1):

Сеть SDH
G.803
Уровень каналов
Каналы E1, E3, E4, Ethernet (10M, 100M, 1000M)
Уровень трактов
Нижний порядок VC-12 (LOV C)
Верхний порядок VC-3, VC-4 (HOV C)
Уровень среды передачи
Секции
Мультиплексирование
Регенерация
Среда передачи
Волоконная оптика, медные провода, радиоканалы

Сеть ATM
I.326
Уровень адаптации ATM
AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5
Уровень ATM
Виртуальный канал (VCI)
Виртуальный путь (VPI)
Уровень среды передачи
Совмещение с оборудованием передачи
Оборудование передачи
Среда передачи
Волоконная оптика, медные провода, радиоканалы

Сеть OTN-OTH
G.872
Уровень пользователя
PDH, SDH, ATM, Ehternet, GFP, RPR, …, электрические и оптические сигналы
Уровень сети OTN
Оптический канал
OPUk, ODUk, OTUk, OCh
Оптические секции
Мультиплексирование OMS
Передача OTS
Среда передачи сигналов WDM
Волоконная оптика

Сеть Ethernet
G.8010
Уровень формирования Ethernet
Управление логическим каналом LLC
Управление доступом к среде передачи MAC
Среда передачи кадров Ethernet (PDH, SDH, ATM, OTN, …)
Волоконная оптика, медные провода, радиоканалы

Рис. 2.1. Модели транспортных сетей связи, определенные МСЭ-Т

– транспортная сеть SDH, рекомендации G.707, G.783, G.803 и др.;
– транспортная сеть ATM, рекомендации I.311, I.326 и др.;
– транспортная сеть OTN-OTH (Optical Transport Network — Optical Transport Hierarchy, оптическая транспортная сеть — оптическая транспортная иерархия), рекомендации МСЭ-Т G.709, G.798, G.872 и др.;
– транспортная сеть Ethernet, рекомендации G.8010, G.8011, G.8012 и др.

Указанные модели имеют общие черты: иерархическое уровневое построение, где каждый уровень имеет самостоятельный и независимый от других уровней набор функций; наличие физического уровня, представляемого системой передачи с организацией секций; образование трактов (маршрутов) физического и виртуального характеров; уровни взаимодействия с пользователем транспортной сети.

Что дает модельное уровневое построение транспортных сетей? Скорее всего чёткое представление об аппаратных, алгоритмических и сетевых возможностях по организации взаимодействий при передаче информации, т.е. о транспортной технологии, например, поперечной совместимости оборудования различных производителей и оборудования различных стандартов мультиплексирования транспортных сетей.

Ниже приводятся отдельные характеристики моделей, дается их сравнительная оценка, указывается на их совместимость.

2.1. Характеристики модели транспортной сети SDH

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи, трактов (маршрутов передачи информации), каналов.

Уровень среды передачи базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных. Среда передачи содержит: волоконные световоды в конструкциях различных кабелей; электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков — секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Секции регенерации и мультиплексирования являются предметом проектных расчетов, построений и технической эксплуатации. Для этого в рамках стандартизации SDH предусмотрены служебные сообщения по контролю качества передачи по битовым ошибкам, служебная связь, каналы управления и синхронизации. Секция мультиплексирования вместе с входящими в неё секциями регенерации может дублироваться с целью гарантированной защиты от повреждений. Для этого дублирующая (защитная) секция оснащается сигналами автоматического переключения за интервал времени не более 50 мс. Сигналы, передаваемые через физическую среду модели сети SDH, представляют собой циклы длительностью 125 мкс, называемые синхронными транспортными моду-

лями STM-N (Synchronous Transport Module) порядка $N = 0$, 1, 4, 16, 64, 256. Порядок характеризует иерархический уровень и соответствующий скоростной режим передачи.

Подробные сведения по формированию этих циклов и их содержимому рассмотрены в следующей главе.

Уровень трактов сети SDH подразделён на два подуровня: высокого и низкого порядка, стандартно обозначаемых в технической литературе: HOVC (Higher Order Virtual Container) — виртуальный контейнер высшего порядка, и LOVC (Lower Order Virtual Container) — виртуальный контейнер низшего порядка. Виртуальные контейнеры высокого и низкого порядков представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Виртуальные контейнеры низкого порядка могут объединяться для размещения в виртуальные контейнеры высокого порядка. Понятие «виртуальность» этим цифровым блокам присвоено из-за специальных данных, называемых заголовками, в которых: прописывается уникальный маршрутный идентификатор для адресного переноса каждого контейнера через транспортную сеть от источника информации до получателя; ведется контроль качества передачи из конца в конец и по отдельным участкам маршрута; вставляются сообщения о необходимости защитных переключений; вставляются сообщения о виде информационных данных; поддерживается служебная связь и т.д. Виртуальные контейнеры могут сцепляться для переноса нестандартных информационных нагрузок. Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение — тракт или маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг. Эти соединения могут проходить через различные системы передачи SDH (волоконно-оптические и радиорелейные) с различными иерархическими уровнями STM-N.

Подробные сведения по формированию виртуальных контейнеров, их объединению и разделению, по функциям и возможностям приводятся в следующих главах.

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2,048 Мбит/с (E1), с сетями Ethernet на скоростях передачи 10, 100 и 1000 Мбит/с через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования.

Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма — тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Создание и поддержка всех соединений в сети SDH и контроль всех функций обеспечиваются системой управления, имеющей сеть выделенных каналов связи и средства протокольного взаимодействия через эти каналы.

2.2. Модель транспортной сети ATM

Модель транспортной сети ATM представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи; асинхронного режима передачи; адаптации ATM.

Уровень среды передачи в модели транспортной сети ATM может быть реализован, согласно стандартам ATM, любой системой передачи, например, системами с плезиохронным мультиплексированием (PDH) или системами синхронного мультиплексирования (SDH). При этом допускается использование любой среды и оборудования передачи (медные провода с модемами xDSL, радиоканалы с соответствующими радиочастотными преобразователями, атмосферные оптические каналы с соответствующими средствами сопряжения, волоконно-оптические системы).

Уровень ATM разбит на подуровни виртуального канала и виртуального пути. Эти образования уровня ATM связаны с единицами представления данных, называемых ячейками и имеющими ёмкость 53 байта. Эта ёмкость поделена на поле заголовка длиной 5 байт и поле нагрузки (сегмент пользователя) длиной 48 байт. Заголовок содержит идентификаторы ячеек, принадлежащих одному соединению, виртуальному пути VPI (Virtual Path Identifier) и виртуальному каналу VCI (Virtual Circuit Identifier). Благодаря этим идентификаторам ячейки в общем потоке различаются при демультиплексировании и коммутации. В коммутаторах для выполнения коммутаций все идентификаторы прописываются в виде таблиц маршрутизации, по которым входящие ячейки идентифицируются и транслируются на нужные выходы с последующим мультиплексированием в новые потоки участка сети. Потоки ячеек ATM формируются случайно во времени в силу случайности поступления информационных сообщений, упакованных в сегменты. При этом потоки случайных ячеек, исходящих от различных источников, статистически мультиплексируются в общий неслучайный поток данных, согласуемый с уровнем среды передачи функциями совмещения с оборудованием передачи. В общий поток информационных ячеек могут включаться и ячейки служебного назначения, например, для управления в сети, для контроля перегрузок коммутаторов, для тестирования и т.д. На уровне среды передачи поток ячеек синхронно байт за байтом размещается в циклы передачи, например, в циклы E1, E3 PDH или в циклы виртуальных контейнеров SDH.

Уровень адаптации ATM выполняет функции интерфейса между транспортной сетью ATM с её виртуальными соединениями и пользователями транспортных услуг (вторичными сетями связи), например, телефонными сетями, сетью Интернет, локальными сетями Ethernet и т.д. При этом различным видам трафика определены различные типы уровневой адаптации AAL (ATM Adaptation Level , AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5), предусматривающие формирование различных по структуре сегментов для пользовательской нагрузки. Подробная информация об этих уровнях приводится в следующей главе.

Картина формирования потока ячеек в модели транспортной сети ATM представлена на рис. 2.2.

Принципиальное отличие моделей транспортных сетей SDH и ATM состоит в следующем:

– транспортный ресурс сети SDH — тракт высокого или низкого порядка — предоставляется в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) постоянно, независимо от информационного потока и с фиксированной скоростью передачи, что часто является причиной низкой эффективности использования соединения, например, в телефонии с коммутацией каналов при активности канала от 0.1 до 1.0;

– транспортные ресурсы сети ATM — виртуальный канал или виртуальный путь, поддерживаемые коммутаторами с маршрутными таблицами каждого соединения, предоставляются в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) только при наличии потока информационной нагрузки, т.е., когда ячейки ATM формируются и следуют через физическую среду. В противном случае среда передачи предоставляется потокам ячеек других источников благодаря статистическому мультиплексированию на уровне ATM. Это позволяет в несколько раз повысить эффективность использования физического соединения, например, тракта SDH.

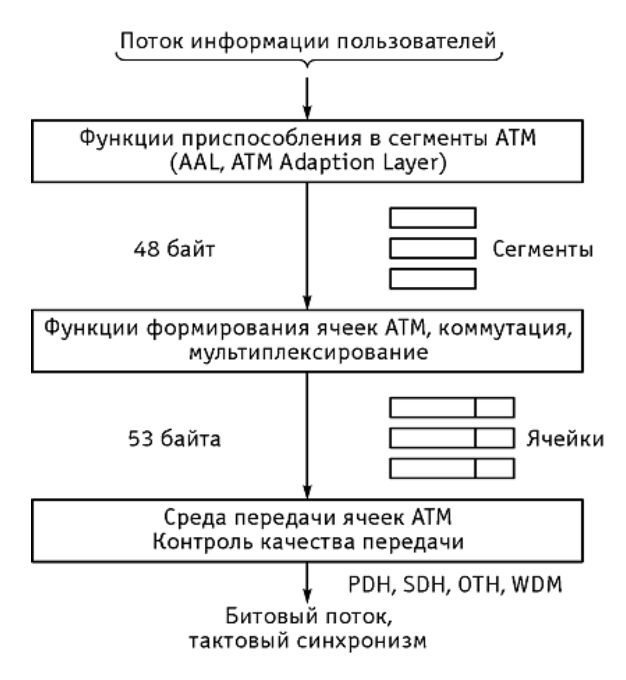


Рис. 2.2. Формирование потока ячеек транспортной сети ATM

2.3. Модель транспортной сети OTN-OTH

Модель транспортной сети OTN-OTH представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: сети OTN и пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit-k) с включением в них блоков блоков данных оптических каналов ODUk (Optical channel Data Unit-k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit-k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTH (k = 1,2,3) и указывает на различные по длительности, ёмкости и скорости передачи циклы. Де-

тальное представление этих циклически повторяющихся блоков приводится в следующей главе. Оптические секции базируются на ресурсах одномодовых волоконных световодов со стандартными характеристиками и огромной полосой частот передачи, которая достигает примерно 30…60 ТГц в диапазоне волн 1260…1675 нм для различных типов волокон. Этот диапазон используется в режиме WDM. При этом число волновых каналов может реализовываться от 2…4 OCh до нескольких сотен OCh, объединяемых в оптические волновые (транспортные) модули OTM (Optical Transport Module) ёмкостью до 16 OCh в каждом. Таким образом, среда передачи в этой модели транспортной сети позволяет достигать скоростей передачи порядка 10 и более Тбит/с при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2,5 до 40 Гбит/с.

Оптические секции ретрансляции OTS организуются внутри оптической секции мультиплексирования OMS для компенсации потерь оптической мощности в стекловолокне и компенсации дисперсионных искажений. Эти функции обеспечивают линейные оптические примесные волоконные усилители с эквалайзерами, рамановские оптические усилители и компенсаторы хроматической и поляризационной дисперсии, а в перспективе полностью оптические регенераторы 2R и 3R.

В оптической секции мультиплексирования формируются, передаются, обслуживаются и расформировываются отдельные оптические каналы, оптические волновые модули OTM с числом каналов до 16 (называемые также оптическими транспортными модулями), группы оптических модулей. Каждый оптический модуль может иметь отдельный оптический сервисный канал, в который включаются служебные данные для каждого OCh. Кроме того, в секции оптического мультиплексирования создаётся сервисный оптический канал для обслуживания всей секции и отдельных участков — секций ретрансляции OTS. Секция OMS может иметь гарантированную защиту благодаря дублированию передачи в альтернативной кабельной линии с соответствующими секциями ретрансляции. Нормированное время защитного переключения составляет 50 мс.

Оптический канал OCh в оптической сети выполняет при терминировании функции регенерации цифрового сигнала типа 3R, т.е. восстанавливает амплитуду импульсов (1R), их форму (2R) и устраняет накопленные фазовые дрожания (3R) (рис. 2.3). Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk и т.д.

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTH выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP (Generic Framing Procedure), протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и некоторые другие, рассматриваемые в следующей главе. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

Если сравнить три рассмотренные модели транспортных сетей, то можно отметить, что наибольший транспортный ресурс может обеспечить только модель сети OTN-OTH. При этом она поддерживает трансляцию данных сетей SDH и ATM. Очевидно,

что модель сети OTN-OTH предназначена для глобального масштаба, т.е. магистральных сетей связи с большим объёмом трафика и для сетей связи крупных городов-мегаполисов с развитой телекоммуникационной инфраструктурой.

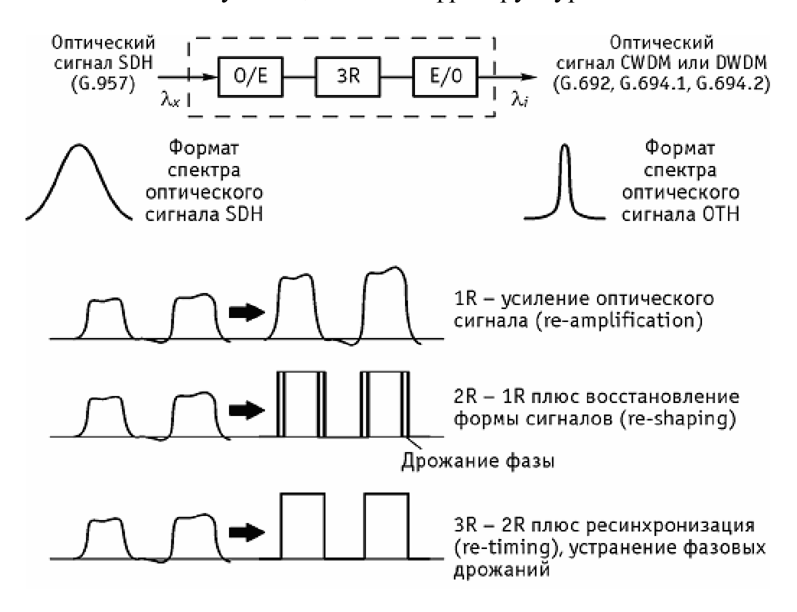


Рис. 2.3. Принцип 3R регенерации в транспондере OTH

2.4. Модель транспортной сети Ethernet

Среди моделей транспортных оптических сетей модель транспортной сети Ethernet самая последняя по времени стандартизации МСЭ-Т. Однако эта модель по своему происхождению намного старше по возрасту, ей более 30 лет. Она была разработана для взаимодействия по обмену файлами (пакетами или кадрами данных) между компьютерами в локальной сети при использовании медных проводов, конверторов сигналов и протокола передачи данных с контролем коллизий, т.е. состояний, когда по одной паре проводов одновременно начинали передачу два и более компьютеров. В таком качестве эти сети используются и сегодня на коротких сегментах, как правило, не превышающих несколько сот метров. Появление быстродействующих пакетных коммутаторов и волоконной оптики позволило резко увеличить скорости передачи пакетов (от 10 Мбит/с до 100, 1000 и 10 000 Мбит/с) и дистанцию передачи до десятков и сотен километров. С другой стороны, рост потребностей в высококачественных цифровых услугах, таких как передача речи, программ звукового вещания, телевизионных программ высокой чёткости, видео по запросу, телеконференций и др. заставили обратить внимание на сети Ethernet как на средства относительно дешевого решения по транспортировке мультимедийного трафика до пользовательских терминалов и как на средства создания локальных, городских и внутризоновых транспортных сетей связи.

Модель транспортной сети Ethernet состоит из двух уровней: уровень среды передачи кадров Ethernet и формирования кадров (пакетов) Ethernet.

Уровень среды передачи сети Ethernet может быть реализован на базе медных проводов, волоконных световодов, радиоканалов и атмосферных оптических каналов с использованием соответствующих конверторов сигналов (приёмопередатчиков), что характерно для локальных и городских сетей связи, и это наиболее экономичное решение относительно других моделей транспортных сетей. При организации связи на большие расстояния (например, более 100 км) уровень среды передачи может быть представлен транспортными сетями SDH, ATM, OTN или их сочетанием и использованием плезиохронной передачи PDH. В этом случае решение по транспортной сети не отличается от других моделей дешевизной. В этой модели, как и в других, на уровне среды передачи поддерживается тактовый и при необходимости цикловой синхронизм. Также возможна реализация функций защитных переключений на резервную среду передачи за интервал времени до 50 мс.

Уровень формирования кадров (пакетов) Ethernet состоит из двух подуровней: управления логическим каналом LLC (Logical Link Control) и управления доступом к среде передачи MAC (Medium Access Control). Эти подуровни протокольные, т.е. их функции предписаны определенными алгоритмами для процессоров, которые формируют кадры с информационными данными и служебными сообщениями. Кадры с информационными данными создаются и отправляются случайно во времени, т.е. в зависимости от потока информационной нагрузки, или в потоковом режиме, когда нагрузка поступает непрерывно. Мультиплексирование кадров, управление их потоком, коммутация их в узлах, наблюдение соединений по потоку кадров из конца в конец или по участкам сети — всё это выполняет уровень формирования кадров. Также он обеспечивает интерфейс с источниками информационных данных (вторичными сетями, например, сетями IP, MPLS и т. д.).

Логическим развитием модели транспортной сети Ethernet стала модель транспортной сети с пакетной передачей и коммутацией по меткам T-MPLS (Transport Multi-Protocol Label Switching — транспортная многопротокольная коммутация по меткам). Решения по этой технологии представлены рядом рекомендаций МСЭ-Т:

– G.8110 — архитектура уровней сети MPLS;
– G.8110.1 — применение MPLS в транспортной сети;
– G.8112 — интерфейс между узлами сети MPLS;
– G.8121 — функции оборудования MPLS;
– Y.1720 (G.8131) — защитные переключения в сети MPLS;
– Y.1711 — механизмы обслуживания и эксплуатации в сети MPLS.

Разработка этой модели нацелена на повышение эффективности использования ресурсов магистральных и внутризоновых оптических транспортных сетей с технологиями циклической цифровой передачи: PDH, SDH и OTH. Кроме того, для местных и локальных сетей, где преобладает использование передачи Ethernet на скоростях 100 Мбит/с, 1000 Мбит/с и 10000 Мбит/с, применение протокола T-MPLS позволит внедрить широкий спектр услуг по передаче речи (IP-телефония), видеоизображение (IPTV-телевидение), Интернет и т.д. Структура и соответствующие ей интерфейсы T-MPLS рассматриваются в следующей главе.

2.5. Модели транспортных сетей в оптических мультисервисных транспортных платформах

Современное развитие транспортных сетей связи происходит через интеграцию всех функциональных возможностей, заложенных в модели транспортных сетей. Интеграция привела к созданию универсальных мультисервисных транспортных платформ с электрическими и оптическими интерфейсами, с электрической и оптической коммутацией каналов и пакетов (кадров и ячеек), с предоставлением любых видов транспортных услуг, включая услуги автоматически коммутируемых оптических сетей с сигнальными протоколами, основанными на обобщённом протоколе коммутации по меткам GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching).

На рис. 2.4 представлена обобщенная архитектура транспортной платформы, в которой указаны возможные источники информационной нагрузки, протоколы согласования и транспортные технологии.

Обозначения источников нагрузки на рис. 2.4:

- PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy — плезиохронная цифровая иерархия (скорости 2, 8, 34 и 140 Мбит/с);
- N-ISDN, Narrowband Integrated Services Digital Network — узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (У-ЦСИС);
- IP, Internet Protocol — межсетевой протокол;
- IPX, Internet Packet eXchange — межсетевой обмен пакетами;

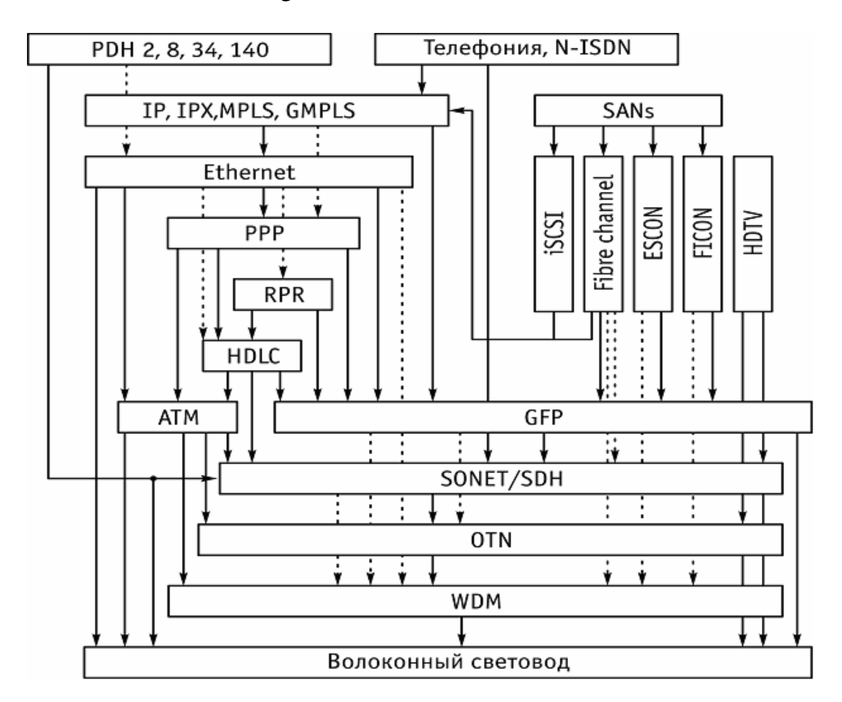


Рис. 2.4. Обобщенная архитектура оптической мультисервисной транспортной платформы

– MPLS, Multi-Protocol Label Switching — многопротокольная коммутация по меткам;
– GMPLS, Generalised MPLS — протокол обобщенной коммутации по меткам;
– SANs, Storage Area Networks — сети хранения данных (серверы услуг, базы данных);
– iSCSI, internet Small Computer System Interface — протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами;
– HDTV, High-Definition Television — телевидение высокой четкости;
– ESCON, Enterprise Systems Connection — соединение учрежденческих систем (с базами данных, серверами);
– FICON, Fiber Connection — волоконное соединение для передачи данных;
– PPP, Point-to-Point Protocol — протокол «точка-точка»;
– RPR, Resilient Packet Ring — протокол пакетного кольца с самовосстановлением;
– HDLC, High-level Data Link Control — протокол управления каналом высокого уровня;
– GFP, Generic Framing Procedure — процедура формирования общего кадра.

Протоколы PPP, RPR, HDLC, GFP в транспортных сетях выполняют функции согласования информационных данных от источников нагрузки с транспортными структурами с целью повышения эффективности использования ресурсов этих структур, например, виртуальных контейнеров высокого и низкого порядков в сети SDH или оптических каналов в сети OTN, или физических ресурсов кадров передачи сети Ethernet.

В завершении необходимо отметить, что очень часто в технической литературе модели транспортных сетей сравниваются с семиуровневой моделью взаимодействия открытых систем OSI (Open System Interconnection) для сетей передачи данных, разработанной международной организацией по стандартизации ISO (International Organization for Standartization). Это сравнение показывает, что в транспортных сетях реализуются два нижних уровня: физический (обозначается L1) и канальный (обозначается L2) модели OSI. В отдельных реализациях транспортных платформ возможна маршрутизация пакетов, что соответствует по модели OSI функциям сетевого уровня (L3).

Контрольные вопросы

1. Какие модели транспортных сетей определены рекомендациями МСЭ-Т?
2. Что общего в моделях транспортных сетей?
3. Чем отличаются модели транспортных сетей?
4. Чем представлен уровень среды передачи в модели SDH?
5. Какие функции выполняет в модели SDH уровень трактов?
6. Какие функции выполняет в модели SDH уровень каналов?
7. Чем отличаются тракты высокого и низкого порядков в модели SDH?
8. Что может входить в состав уровня среды передачи модели ATM?
9. Чем представлен уровень ATM в модели сети ATM?
10. Какое назначение имеет уровень адаптации ATM?
11. Чем отличаются транспортные структуры моделей SDH и ATM?
12. Что служит основой построения сети OTN?

13. Какие оптические секции предусмотрены в модели OTN-OTH?
14. Что входит в состав подуровня оптического канала сети OTN-OTH?
15. Что необходимо для согласования информационных потоков с каналами сети OTN-OTH?
16. Почему актуально использование модели транспортной сети Ethernet?
17. Какие преимущества для транспортировки информации имеют сети Ethernet?
18. Какими уровнями представлена модель транспортной сети Ethernet?
19. Какие функции выполняют подуровни LLC и MAC?
20. С какой целью в составе моделей транспортных сетей предусматриваются функции управления и синхронизации?
21. Как соотносятся модели транспортных сетей с моделью OSI?

Глава 3

ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

Транспортные сети связи строятся на различных технологиях мультиплексирования и передачи, которые определены в рамках стандартов как модели транспортных сетей SDH, ATM, OTN-OTH, Ethernet. Развитие техники транспортных сетей тесно связано, прежде всего, с развитием техники передачи в волоконных световодах. Это создает возможности по использованию в транспортных сетях оптического мультиплексирования с разделением по длине волны WDM, оптического мультиплексирования с разделением во времени OTDM и мультиплексирования с кодовым разделением OCDM. Также перспективны в транспортных сетях возможности коммутации оптических каналов и оптических пакетов в них. Техника оптических систем передачи рассмотрена кратко в первой главе и подробно во многих учебных и технических изданиях [2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11…].

В этой главе рассматриваются ключевые моменты технологий мультиплексирования и передачи для транспортных сетей.

3.1. Технология мультиплексирования SDH

3.1.1. Термины, определения и обозначения в SDH

Синхронная цифровая иерархия SDH (Synchronous Digital Hierarchy) — набор иерархических цифровых транспортных структур (циклов), стандартизированных для транспортировки соответственно адаптированной нагрузки для передачи через физическую сеть. К иерархии цифровых структур относятся:

– синхронные транспортные модули STM-N (Synchronous Transport Module) порядка $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$ (рис. 3.1);
– виртуальные контейнеры VC-n/m (Virtual Container) порядка $n/m = 1, 2, 3, 4$, они подразделяются на виртуальные контейнера высокого $n = 3/4$ и низкого порядков $m = 1, 2$ (11, 12, 2) и обеспечивают формирование трактов высокого (HOVC) и низкого (LOVC) порядков;
– административные блоки AU-n (Administrative Unit) порядка $n = 3, 4$;
– транспортные блоки TU-n (Tributary Unit) порядка $n = 1, 2, 3$;
– контейнеры C-n/m (Container) порядка $n/m = 1, 2, 3, 4$, порядок $n = 3/4$ называется высоким, а порядок $m = 1, 2$ (11, 12, 2) называют низким.

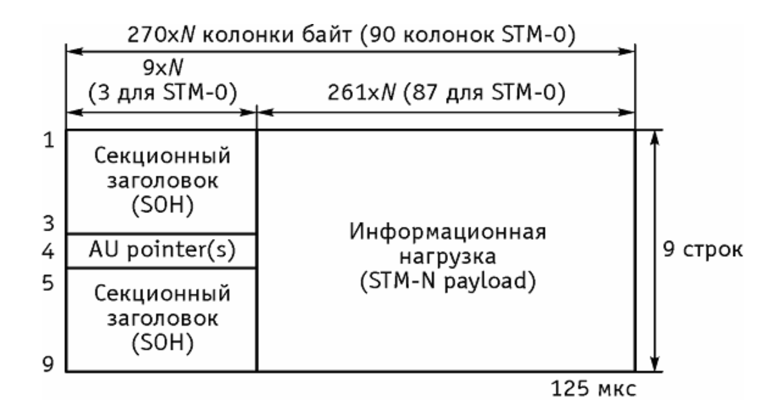


Рис. 3.1. Структура цикла STM-N

Перечисленные цифровые структуры представлены во взаимной связи схемой мультиплексирования (рис. 3.2).

Цикл STM представляет собой информационную структуру, используемую для соединения на уровне секции мультиплексирования и передачи в сети SDH. Базовая структура STM-N представлена тремя составляющими (рис. 3.1):

– секционными заголовками SOH (Section Overhead), которые необходимы для обслуживания секций регенерации (RSOH, Regeneration SOH) и мультиплексирования (MSOH, Multiplex SOH) (рис. 3.3);
– указателями административных блоков AU (Administration Unit pointer);
– информационной нагрузкой (STM-N Payload).

Такая структура образуется каждые 125 мкс и имеет емкость 270×9×N байт (для $N = 0$ емкость 90×9 байт), т.е. это цикл с байтовой структурой, который в технической литературе называют кадром или фреймом (frame).

В табл. 3.1 представлены иерархические уровни STM-N и соответствующие им скорости передачи.

Любая из иерархических скоростей STM-N вычисляется простой операцией умножения, например, STM-1 имеет емкость 270 × 9 = 2430 байт, которая повторяется 8000 раз за 1 секунду, а число бит составит

$$2430 \text{ байт} \times 8000 \times 8 = 155520000 \text{ бит/с}.$$

Другие иерархические скорости получаются умножением 155520000 × N, т.е. на 4, 16, 64 и 256.

Усовершенствованным решением на последнем этапе стандартизации стало введение уровней STM-0 и STM-256, а также увеличение числа вариантов создания STM-N. При этом базовыми элементами остались виртуальные контейнеры, иерархия которых также расширилась за счет введения сцепленных структур VC-12-Xv (виртуально сцепленные X), VC-4-Xc (последовательно сцепленные X), VC-4-Xv и другие (табл. 3.2), где X указывает на число сцепляемых контейнеров. Это число может быть фиксированным для последовательно сцепляемых (C = 1, 4, 16, 64, 256) и изменяемым в определенных диапазонах для виртуально сцепляемых (V = 1–64 или 1–256).

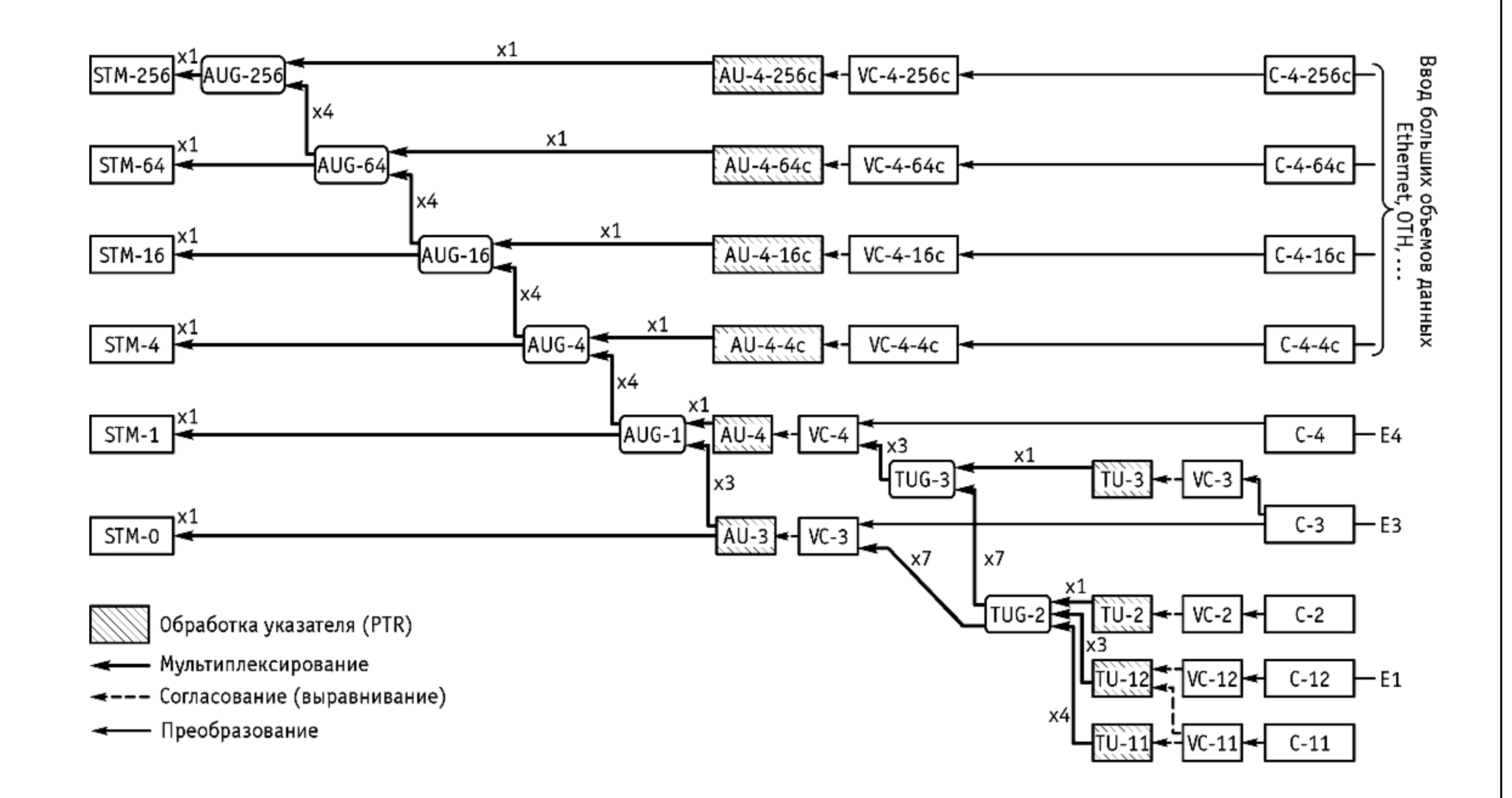


Рис. 3.2. Схема мультиплексирования SDH последнего поколения

Таблица 3.1. Иерархия скоростей передачи в SDH

Уровень STM-N	**Иерархическая битовая скорость (кбит/с)**
0	51 840
1	155 520
4	622 080
16	2 488 320
64	9 953 280
256	39 813 120
1024	Около 160 Гбит/с (в проекте)

Таблица 3.2. Иерархия виртуальных контейнеров в SDH

VC-тип	**VC-нагрузка, кбит/с**	**Шаг, кбит/с**
VC-11	1 600	
VC-12	2 176	
VC-2	6 784	
VC-3	48 384	
VC-4	149 760	
VC-4-4c	599 040	
VC-4-16c	2 396 160	
VC-4-64c	9 584 640	
VC-4-256c	38 338 560	
VC-11-Xv, X = 1…64	1 600…102 400	1 600
VC-12-Xv, X = 1…63	2 176…137 088	2 176
VC-2-Xv, X = 1…21	6 784…142 464	6 784
VC-3-Xv, X = 1…3	48 384…145 152	48 384
VC-4-Xv, X = 1…256	149 760…38 338 560	149 760

С точки зрения стандартов на построение транспортных сетей SDH блоки STM-N и VC-n относятся к различным уровням транспортной сети (рис. 3.3).

<table>
<tr><td rowspan="9">Уровни транспортной сети SDH</td><td>Уровень каналов</td><td>E1</td><td>E3</td><td>E4</td><td>Ethernet</td><td>Другие</td></tr>
<tr><td colspan="6">Адаптация: C-12, C-3, C-4, C-4-nc</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Уровни трактов</td><td colspan="5">Тракты нижнего порядка VC-12, (VC-3), …</td></tr>
<tr><td colspan="5">Адаптация: TU-n, TUG-2, TUG-3</td></tr>
<tr><td colspan="5">Тракты верхнего порядка VC-3, VC-4, VC-4-4c, …</td></tr>
<tr><td colspan="6">Адаптация: AU-3, AU-4, AUG-N, STM-N</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Уровень среды передачи</td><td rowspan="2">Секция</td><td colspan="4">Мультиплексирование MSOH</td></tr>
<tr><td colspan="4">Регенерация RSOH</td></tr>
<tr><td colspan="5">Среда передачи: кодирование, тактирование</td></tr>
</table>

Рис. 3.3. Расширенная модель транспортной сети SDH

В уровневой модели транспортной сети SDH представлены не все компоненты схемы мультиплексирования SDH, т.к. схема мультиплексирования не полностью реализуема в европейских стандартах, например, применительно к контейнерам С-11, С-2, представляющих американские стандартны. Положение VC-3 в качестве основы тракта верхнего или нижнего порядка определяется схемой мультиплексирования. Если VC-3 входит по схеме в VC-4, то его относят к нижнему порядку. Если VC-3 входит в AU-3, то его относят к верхнему порядку. При этом он служит основой формирования для STM-0.

Виртуальные контейнеры VC-n, как и STM-N, представляют собой цифровые циклические структуры с байтовым построением. Блоки VC-n отличаются емкостью (табл. 3.2), временем формирования и рядом других показателей, о которых сообщается ниже. На рис. 3.4 представлены примеры структур виртуальных контейнеров VC-12, VC-3, VC-4.

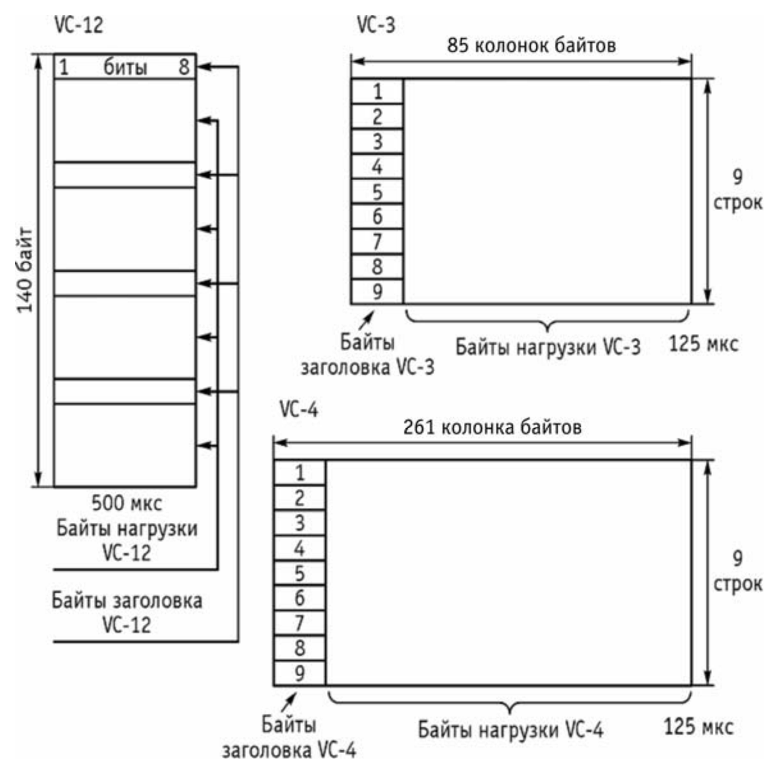


Рис. 3.4. Примеры структур виртуальных контейнеров

Административные AU-n и транспортные TU-n блоки служат средствами адаптации различных цифровых структур друг к другу. Центральным элементом этих блоков являются указатели PTR, т.е. цифровые блоки данных, в которых записываются адреса начала размещения адаптируемой нагрузки. Например, VC-4 размещается в AU-4, а VC-12 размещается в TU-12. С помощью указателей согласуются цифровые блоки с различными скоростями передачи. Благодаря этому VC-12 может смещаться в TU-12 без ухудшения качества доставки информации пользователя и аналогично VC-3 и VC-4 в AU-3 и AU-4.

Структуры транспортных и административных блоков представлены на рис. 3.5, 3.6, 3.7 и 3.8.

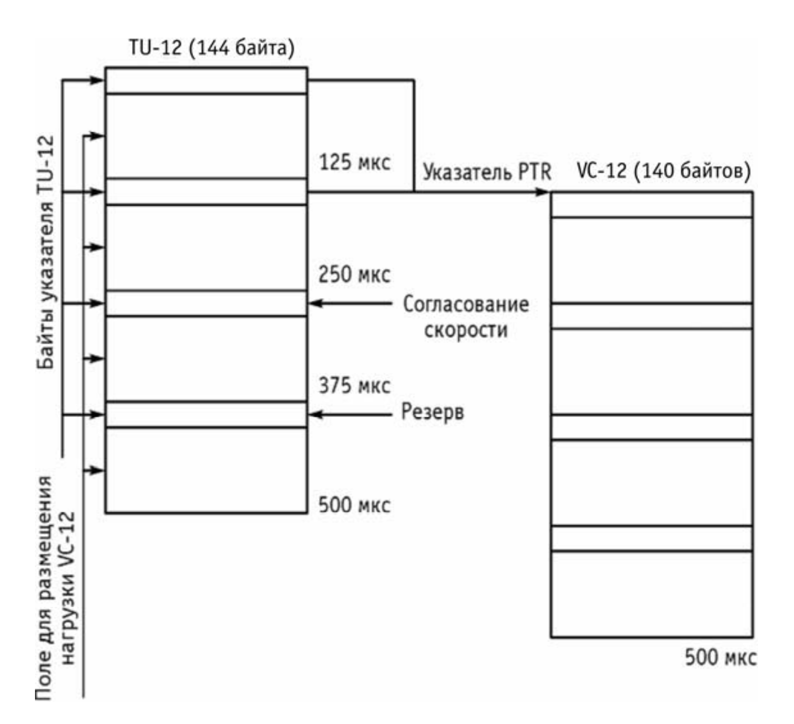


Рис. 3.5. Транспортный блок TU-12

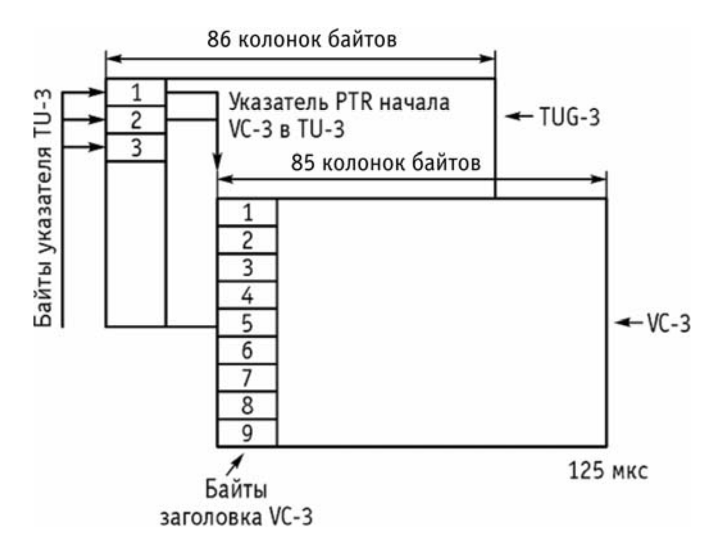


Рис. 3.6. Транспортный блок TU-3

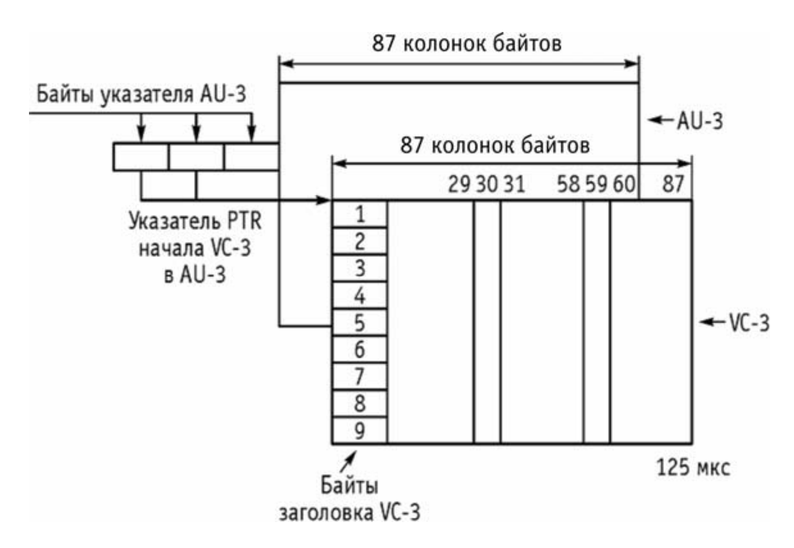


Рис. 3.7. Административный блок AU-3

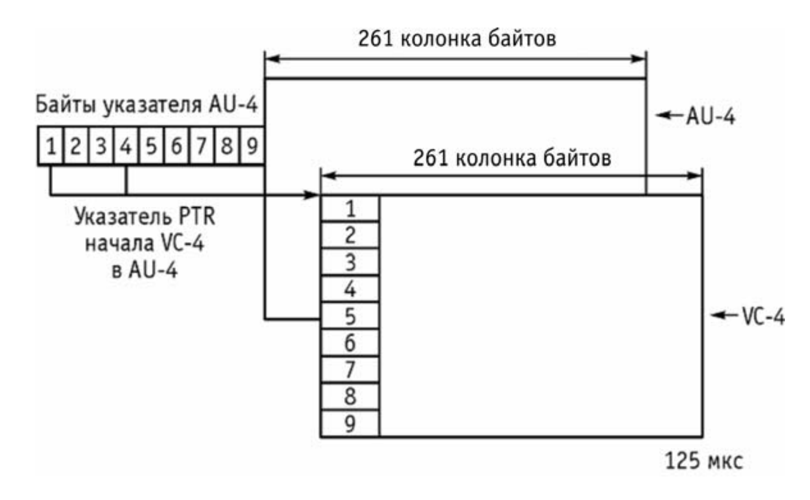


Рис. 3.8. Административный блок AU-4

Административный блок AU-n представляет собой структуру для адаптации между уровнем тракта верхнего порядка и уровнем секции мультиплексирования. Транспортный блок TU-n представляет собой информационную структуру для адаптации между уровнями трактов верхнего и нижнего порядков. В процессы адаптации входят также процедуры размещения данных в контейнеры C-n.

Контейнеры представляют собой информационные структуры, в которые записываются пользовательские данные и осуществляется согласование скоростей на уровне каналов. Составным элементом каждого вида адаптации (TU-n, AU-n) служит группообразование, т.е. формирование двух информационных структур:

– группового транспортного блока TUG-n (Tributary Unit Group), $n = 2, 3$;
– группового административного блока AUG-N (Administrative Unit Group), $N = 4, 16, 64, 256$.

На рис. 3.9, 3.10 представлено формирование TUG-n и AUG-n.

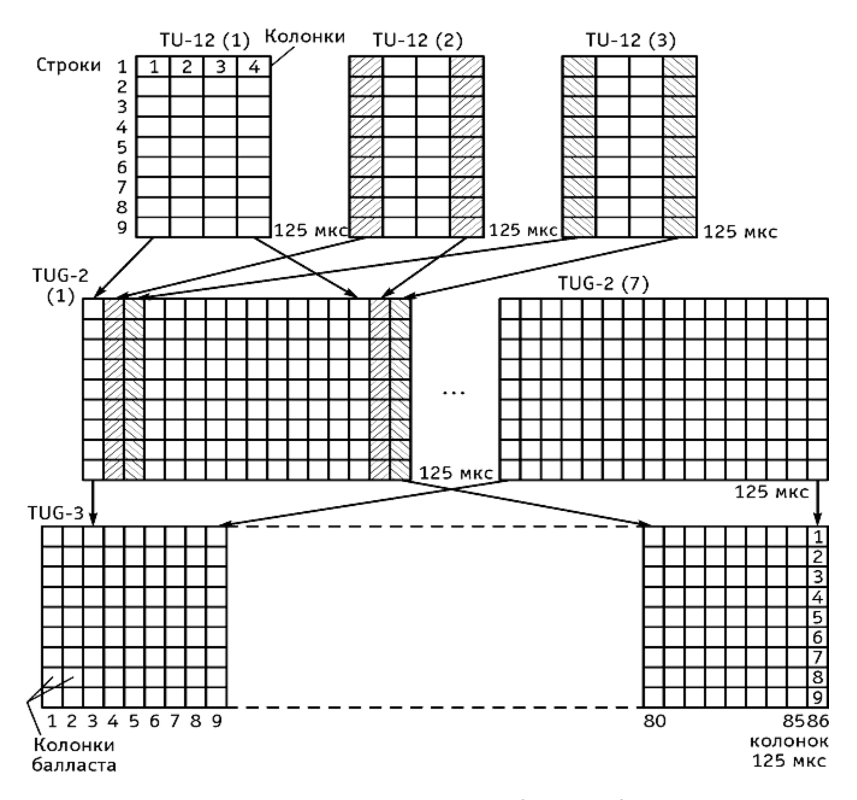


Рис. 3.9. Формирование TUG-2 и TUG-3

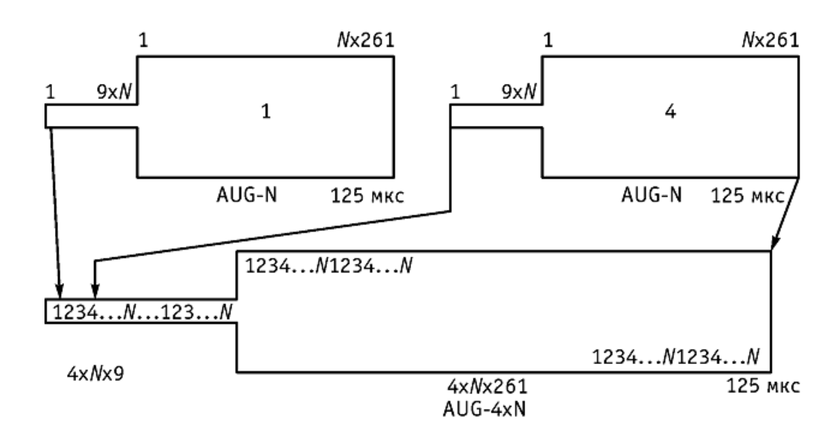


Рис. 3.10. Формирование AUG-4×N из 4AUG-Ns

В первой колонке балласта TUG-3 три верхних байта (рис. 3.9) образуют индикатор нулевого указателя NPI (Null Pointer Indication) при мультиплексировании TUG-3 из TUG-2. Индикатор NPI представляет собой фиксированный двоичный код, который позволяет отличить TUG-3 от блока TU-3 (см. рис. 3.6), загружаемого виртуальным контейнером VC-3.

Способ формирования TUG-2, TUG-3, AUG-n единый, представляющий собой синхронное побайтовое мультиплексирование в интервале времени 125 мкс. Блок TUG-2 формируется из 3-х четвертинок TU-12. Блок TUG-3 формируется из 7 TUG-2. Блок AUG-n формируется из 4, 16, 64 или 256 AUG ступенями синхронно побайтно. Присоединение к AUG-N секционных заголовков SOH (см. рис. 3.2) создает STM-N. Секционные заголовки RSOH и MSOH, соответственно секций регенерации и мультиплексирования, обеспечивают служебные сигналы уровня среды передачи (см. рис. 3.3).

Принципы формирования сцепленных блоков нагрузки VC-4-4c, VC-4-16c, VC-4-64c, VC-4-256c и других рассмотрены в отдельном разделе.

Сцепленные контейнеры и контейнеры представляют собой информационные структуры, формируемые для переноса пользовательской нагрузки. Каждый контейнер C-n, C-X-c, C-X-v поддерживает различные виды согласования скоростей при загрузке и выгрузке данных пользователя. Например, асинхронная загрузка, синхронная по битам, синхронная по байтам, синхронная по циклам и т.д. Контейнеры отличаются от виртуальных контейнеров отсутствием маршрутных заголовков, обозначаемых в документах POH (Path Overhead).

Пример взаимосвязи ряда рассмотренных блоков SDH в цепочке E1, C-12, VC-12, TU-12, TUG-2, TUG-3, C-4, VC-4, AU-4, AUG-1, STM-1 приведен на рис. 3.11.

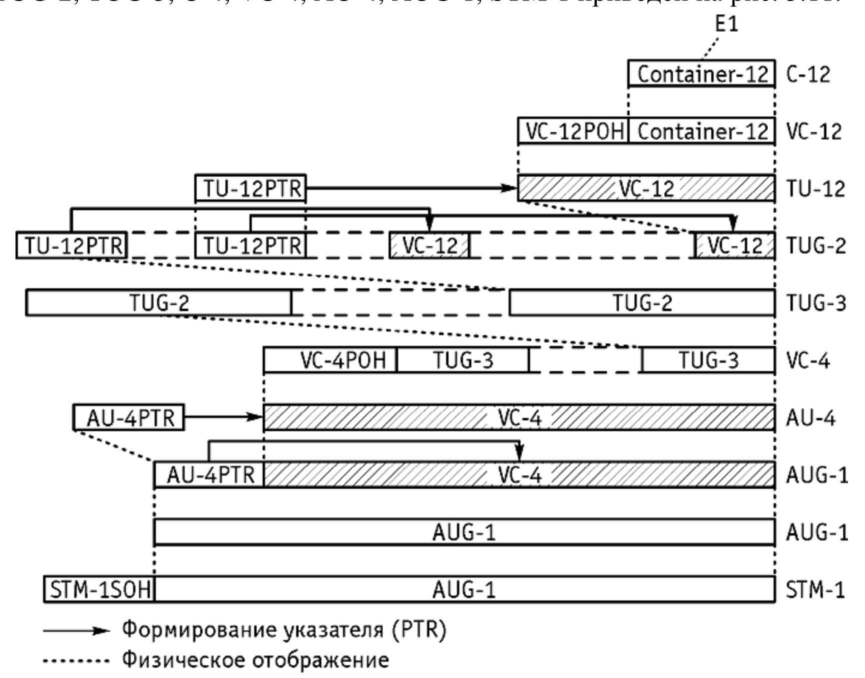


Рис. 3.11. Технология мультиплексирования данных E1 в STM-1

3.1.2. Формирование виртуальных контейнеров и функции заголовков РОН

В настоящем разделе рассматриваются виртуальные контейнеры VC-12, VC-3, VC-4, VC-4-Xc, VC-4-Xv, VC-12-Xv, применяемые на сетях связи Европы и России.

Виртуальный контейнер VC-12 формируется путем присоединения трактового заголовка РОН к контейнеру С-12, который загружается трафиком в интервале времени 500 мкс одним из следующих способов:

– асинхронно цифровыми данными на скорости 2048 кбит/с с допуском отклонения 50 ppm или 50×10^{-6}(рис. 3.12);
– бит-синхронно на скорости 2048 кбит/с;
– байт-синхронно с размещением 31×64 кбит/с.

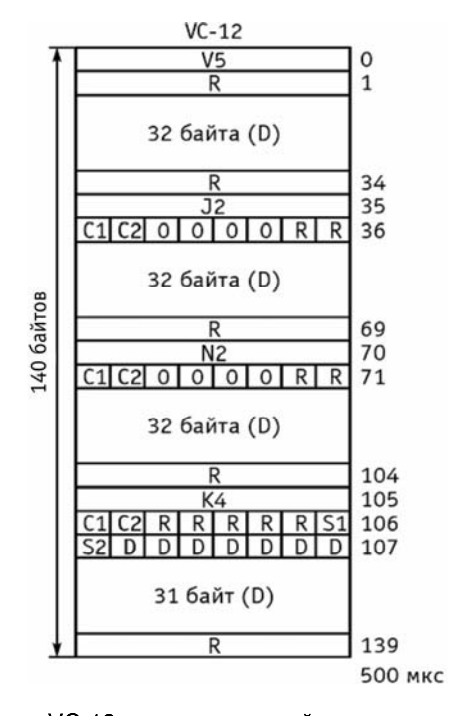


Рис. 3.12. Пример VC-12 для асинхронной загрузки данных 2048 кбит/с

При любом из способов загрузки VC-12 имеет емкость 140 байтов, из которых 4 байта образуют заголовок РОН (байты V5, J2, N2, K4), другие биты и байты предназначены: D — биты и байты нагрузки; R — балластные биты и байты; 0 — биты заголовка; S1, S2 — биты согласования скоростей; C1, C2 — биты управления выравниванием скоростей; S1 — отрицательное согласование; S2 — положительное согласование; C1, C1, C1 = 111 — указание для приёмника на отрицательное согласование (бит S1 переносит информационный разряд); C2, C2, C2 = 111 — указание для приёмника на положительное согласование (бит S2 переносит балластную вставку).

Байт J2 используется для идентификации точек доступа тракта нижнего порядка (LOVC). Он используется в 16 байтах подряд следующих VC-12. Его структура повторяет структуру и функции байт J0 и J1, которые рассматриваются в последующих разделах.

Байт V5 (рис. 3.13) многофункционален. Назначение битов: BIP-2, Bit Interleaved Parity — паритет чередования бит, используемые для контроля ошибок по 2-м битам; REI, Remote Error Indication — индикация ошибки удаленной стороны; RFI, Remote Failure Indication — индикация неисправности удаленной стороны; SL, Signal Label — метка сигнала; RDI, Remote Detect Indication — индикация дефекта удаленной стороны, вызванного неисправностью в TU-12.

BIP-2	REI	RFI	SL	RDI	
1, 2	3	4	5, 6, 7	8	Биты

Рис. 3.13. Структура байта V5

Биты B1, B2 используются для контроля ошибок передачи всего блока виртуального контейнера из конца в конец. Принцип контроля ошибок демонстрируется на рис. 3.14. Все нечетные и отдельно все чётные биты всех байтов виртуального контейнера логически складываются по модулю два. Если число единичных битов в каждой из сумм чётное, то результат суммы равен логическому нулю. Если число единичных бит в каждой из этих сумм нечётное, то результат суммы равен логической единице. Полученное слово из 2-х битов будет вставлено на позиции битов B1, B2 байта V5, последующего за контролируемым виртуальным контейнером. На удаленной приёмной стороне по аналогичному принципу вычисляется логическая сумма, которая сравнивается с логической суммой, извлекаемой с позиций битов B1, B2 последующего VC. Если суммы различаются, то это признак битовой ошибки, что фиксируется на стороне приёма, а в сторону передачи отправляется бит информации обнаружения ошибок REI.

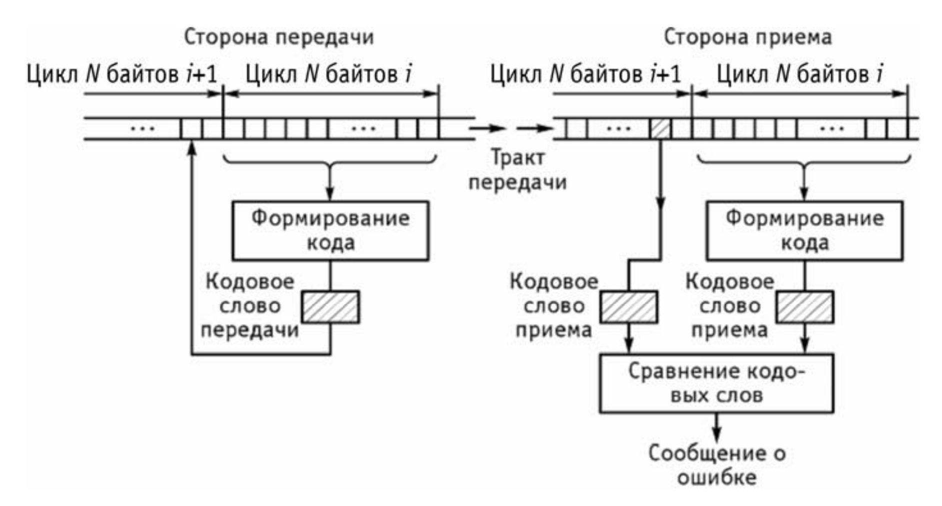


Рис. 3.14. Принцип контроля ошибок по алгоритму паритетного сравнения BIP

На рис. 3.15 представлены окончания двунаправленного тракта VC-12 с сообщениями в байте V5. Количество сообщений о ошибках, определяемое во временном интервале, например, за 1 секунду, позволяет оценивать пригодность тракта для транспортных услуг. Четвёртый бит RFI предназначен для индикации неисправности оборудования удалённой стороны. Биты сигнальной метки SL (5,6,7) переносят информацию о размещаемой в VC-12 нагрузке (табл. 3.3).

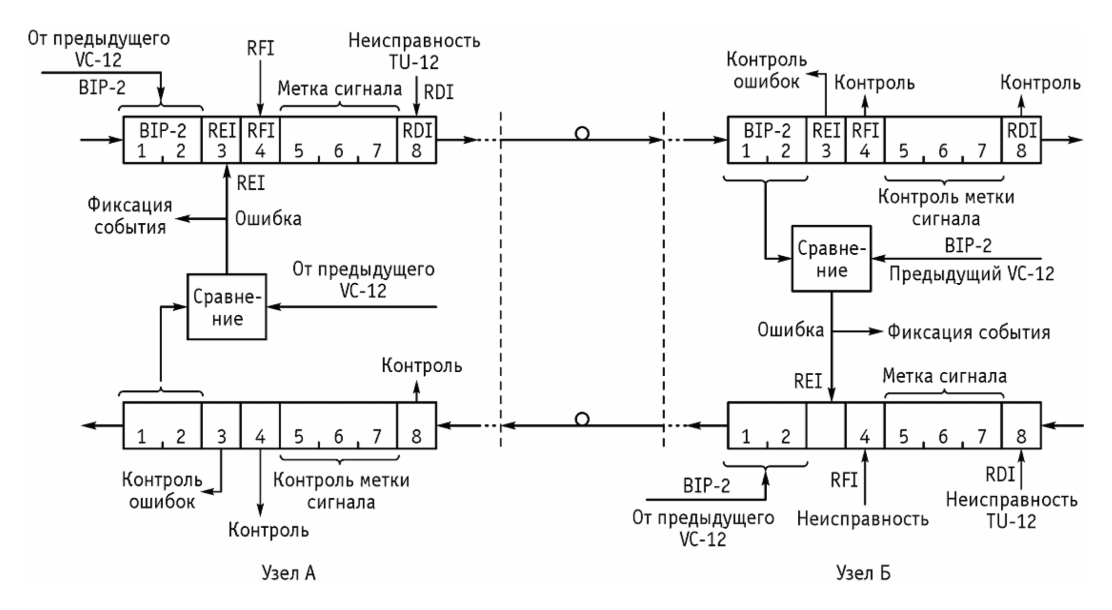


Рис. 3.15. Пример использования битов байта V5

Таблица 3.3. Биты сигнальной метки SL байта V5 в VC-12

Биты			Функциональное назначение
5	6	7	
0	0	0	Контейнер не оборудован (UNEQ)
0	0	1	Резерв
0	1	0	Асинхронная загрузка 2048 кбит/с в С-12
0	1	1	Бит-синхронная загрузка для 1544 кбит/с
1	0	0	Байт-синхронная загрузка 2048 кбит/с в С-12
1	0	1	Бит установки сигнальной метки для байта К4
1	1	0	Тестовый сигнал О.181
1	1	1	Аварийное состояние VC-12 (VC-AIS)

Байт К4 (рис. 3.16) обеспечивает обслуживание нагрузки, сцепки контейнеров и создает возможность переключений на резервный тракт. Назначение битов: ESL, Extended Signal Label — установка сигнальной метки согласовано с меткой (101) в битах 5, 6, 7 байта V5; LOVCon, Low Order Virtual Concatenation — виртуальная сцепка ниж-

него порядка; APS, Automatic Protection Switching — автоматическое защитное переключение; DL, Data Link — данные линии (функции изучаются для дальнейшей стандартизации).

ESL	LOVCon	APS	Резерв	DL
1	2	3 , 4	5 , 6 , 7	8

Биты

Рис. 3.16. Структура байта K4

Бит ESL байта K4 служит продолжением метки загрузки байта V5. Бит переносит сообщения в 32-х подряд следующих VC-12, образуя сверхцикл. Первые 11 бит сверхцикла образуют слово синхронизации: 0111 1111 110.

Биты 12…19 сверхцикла содержат метку загрузки. Примеры некоторых меток приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Кодирование битов в сверхцикле ESL

Биты 12, 13, 14, 15	Биты 16, 17, 18, 19	Функциональное назначение
0000 ... 0000	0000 ... 0111	Резерв
0000	1000	Экспериментальное размещение
0000	1001	Ячейки ATM
0000	1010	Кадры HDLC/PPP
0000	1011	Кадры HDLC/LAPS
0000	1100	Сигнал теста виртуальной сцепки
0000	1101	Кадры GFP

Бит 20 ESL указывает на нулевое заполнение VC-12. Биты 21…32 зарезервированы.

Бит LOVCon индицирует 32-разрядным кодом в последовательности из 32 канальных интервалов виртуальную сцепку контейнеров VC-12-Xv.

Байт N2 (рис. 3.17) поддерживает тандемное соединение TCM (Tandem Connection Monitoring) для контроля качества передачи на любом участке тракта VC-12 между узловыми мультиплексорами, где формируется доступ к транзитному соединению. Назначение бит: BIP-2 — см. рис. 3.13; AIS, Alarm Indication Signal — индикация аварийного состояния; TC-REI, Tandem Connection REI — индикация блоков ошибок удаленной стороны тандемного соединения; OEI, Outgoing Error Indication — индикация блоковых ошибок по выходу; TC-API, Tandem Connection Access Point Identifier — идентификатор точки доступа тандемного соединения; TC-RDI, индикация дефекта удаленной стороны тандемного соединения; ODI, Outgoing Defect Indication — индикация дефекта на выходе, происхождение дефекта — TU-AIS.

BIP-2	"1"	AIS	TC-REI	OEI	TC-IP, TC-RDI, ODI
1 , 2	3	4	5	6	7 , 8

Биты

Рис. 3.17. Структура байта N2

Биты 7, 8 в байте N2 используются в последовательности из 76 VC-12, т.е. в сверхцикле. Часть этих битов зарезервированы, но основная их часть отведена для сигналов API, RDI, ODI.

Виртуальный контейнер VC-3 формируется путем присоединения трактового заголовка POH к контейнеру C-3, который загружается в интервале времени 125 мкс асинхронно данными на скорости 34368 кбит/с с допуском отклонения ±20 ppm.

Полная емкость VC-3 (рис. 3.18) составляет 85 колонок байтов в 9 строках, из которых 9 байтов первой колонки образуют заголовок POH (байты J1, B3, C2, G1, F2, H4, F3, K3, N1).

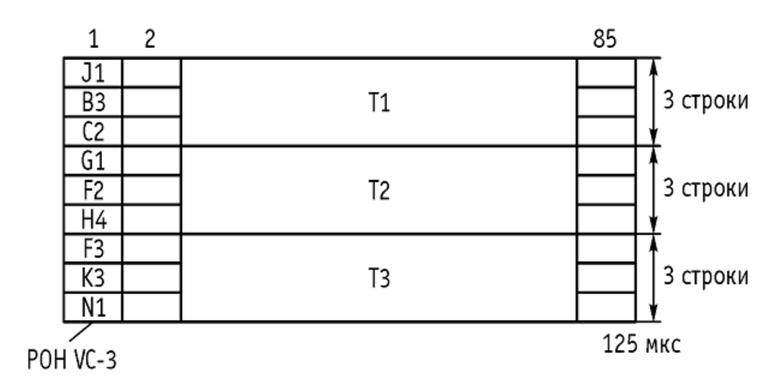
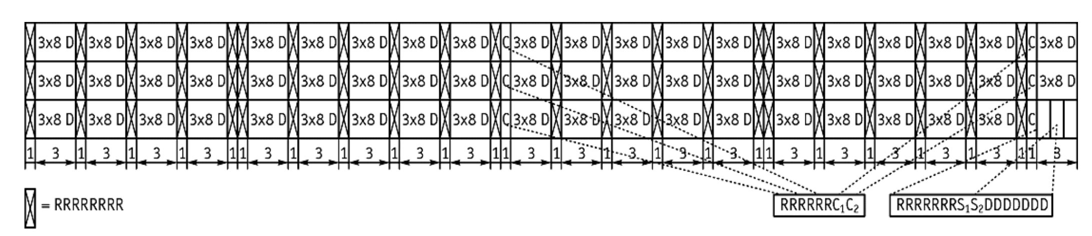


Рис. 3.18. Структура VC-3

В VC-3 входят три подкадра (T1, T2, T3). В каждом подкадре предусмотрены информационные, балластные и служебные байты. Структура одного подкадра представлена на рис. 3.19. Большая избыточность C-3 обусловлена несоответствием скоростей загрузки E3 (34368 кбит/с европейского стандарта) и DS3 (44736 кбит/с американского стандарта).



D – биты данных пользовательской нагрузки
R – фиксированные биты вставок (балласт)
S1, S2 – биты выравнивания скорости (аналогично C-12)
C1, C2 – биты управления выравнивания скоростью (аналогично C-12)

Рис. 3.19. Структура подкадра T1 (T2, T3) контейнера C-3

Структура заголовка POH VC-3 аналогичная структуре заголовка POH VC-4 и рассматривается ниже.

Виртуальные контейнеры VC-4, VC-4-Xc и VC-4Xv формируются путем присоединения трактового заголовка POH к контейнеру С-4, С-4-Xc или С-4-Xv, которые загружаются в интервале времени 125 мкс одним из трех способов:

– асинхронно цифровыми данными на скорости 139264 кбит/с ±15 ppm;
– синхронно побайтно;
– синхронно побайтно со сцепкой: последовательно Xc и виртуально Xv.

При любом из способов загрузки VC-4, VC-4-Xc, VC-4Xv имеют емкость 261×9 байтов, и при сцепке емкость увеличивается пропорционально числу сцепляемых контейнеров, т.е. при последовательной сцепке на 4, 16, 64 и 256, при виртуальной сцепке на любое число из диапазона $N = 2, \ldots, 256$ (см. табл.3.2). Варианты загрузки фиксируются в байте С2 заголовка VC-4 (байты POH: J1, B3, C2, G1, G1, F2, H4, F3, K3, N1). Примеры вариантов загрузки VC-4, VC-4-Xv приведены на рис. 3.20–3.22.

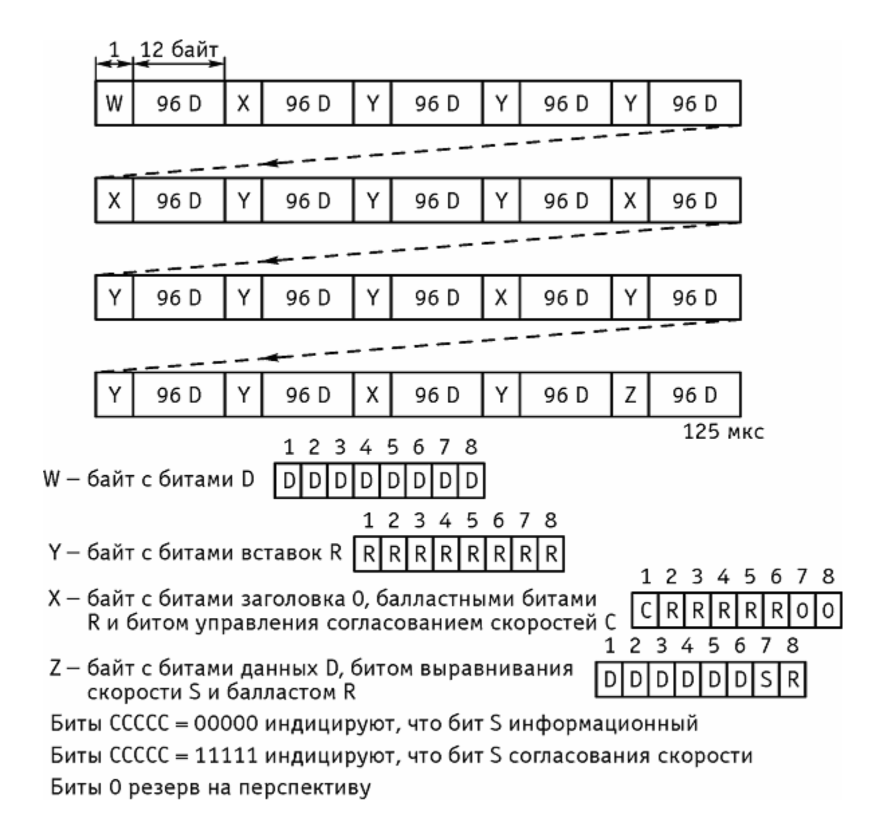


Рис. 3.20. Асинхронное формирование нагрузки контейнера С-4 на скорости 139264 кбит/с

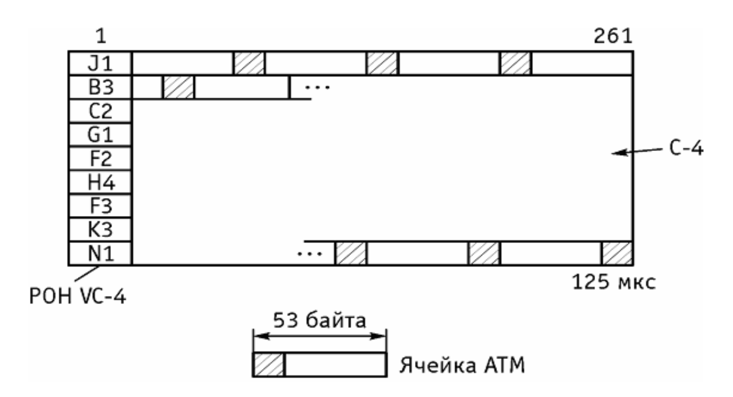


Рис. 3.21. Синхронное заполнение поля нагрузки VC-4 ячейками ATM

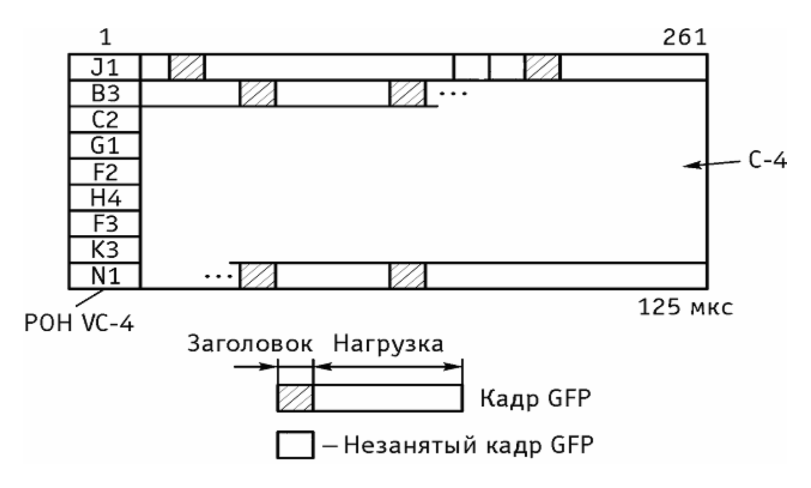


Рис. 3.22. Размещение кадров GFP в виртуальном контейнере VC-4

Функции байтов заголовка VC-3, VC-4, VC-4-Xc аналогичны ранее рассмотренным функциям байтов заголовка VC-12, но отличаются большими возможностями.

Байт J1 — первый байт заголовка POH, индицируемый указателем PTR-AU-n ($n = 3$, 4) или TU-3. Этот байт используется в 16 циклах для идентификации точки доступа, он аналогичен своими функциями байту J0 (соответственно в SOH STM-N).

Байт B3 — выполняет функции мониторинга ошибок в тракте VC-4-Xc / VC-4 / VC-3. Схема вычисления B3 представляет собой процедуру BIP-8 по всему VC-4-Xc / VC-4 / VC-3. Эта процедура аналогична BIP-2, но при этом суммируются и обрабатываются отдельно 8 битов (см. рис. 3.14).

Байт сигнальной метки C2 индицирует статус VC-4-Xc /VC-4 / VC-3. В табл. 3.5 приведены примеры кодирования байта C2 и соответствующие показатели применения метки.

Байт G1 (рис. 3.23) определяет статус тракта верхнего порядка (HOVC) в обратное направление.

Таблица 3.5. Примеры кодирования байта C2

Байт C2		Шестнадцатиричный	Назначение, функция
1–4	5–8		
0000	0000	00	Не применяется или не оборудован (UNEQ)
0000	0010	02	TUG-2, TUG-3
0000	0100	04	Асинхронное размещение в C3 данных 34 368 кбит/с
0001	0010	12	Асинхронное размещение в C4 данных 139 264 кбит/с
0001	0011	13	Размещение данных ATM
0001	0110	16	Размещение данных HDLC/PPP
0001	1000	18	Размещение данных HDLC/LAPS
0001	1010	1A	Размещение данных 10 Гбит/с Ethernet
0001	1011	1B	Размещение данных GFP
0010	0000	20	Асинхронное размещение ODUk (*k* = 1, 2) в виртуальной сцепке VC-4-Xv
1111	1110	FE	Тестовый сигнал по рекомендации O.181 МСЭ-Т
1111	1111	FF	Сигнал аварии VC-AIS

REI	RDI	Резерв	Нет применения	
1, 2, 3, 4	5	6, 7	8	Биты

Рис. 3.23. Структура байта G1

Биты REI (1…4) используются для трансляции числа ошибок, обнаруживаемых средствами приемника по алгоритму BIP-8 (байт B3). Число ошибок — от 0 до 8. Бит RDI (5) индицирует неисправное состояние тракта с удаленной стороны. Биты 6, 7 — резервные, но два состояния 00 и 11 используются по отдельному назначению. Бит 8 не нашел определения по применению.

Байты F2, F3 в своем назначении определяются оператором сети, например, для служебной связи или для индикации загрузки в VC-4 данных сети DQDB (Distributed Queue Double Bus — распределенная двойная шина с очередями).

Байт H4 определен для индикации нагрузки в VC-4 и виртуальной сцепке, и также для указания на позицию нагрузки в VC-4, например, начало ячеек ATM. Пример использования байта H4 для индикации позиций нагрузки TU-12 в VC-4 приведен на рис. 3.24. В H4 индицируется требуемый блок TU-12, а именно байты указателя PTR TU-12 в сверхцикле 500 мкс. При этом кодирование байта H4 записывается в виде табл. 3.6.

Байт K3 предусмотрен для реализации автоматического защитного переключения тракта, где определено назначение бит 1…4 из всего байта (согласно рекомендации G.707/2007 МСЭ-Т).

Байт N1 (рис. 3.25) определен как байт оператора сети для реализации функций контроля соединений трактов TCM по отдельным участкам тракта высокого порядка аналогично байту N2 для трактов низкого порядка.

Таблица 3.6. Состояние бит байта H4

Биты H4	Номер цикла	Время
xx11xx00	0	0
xx11xx01	1	…
xx11xx10	2	…
xx11xx11	3	500 мкс

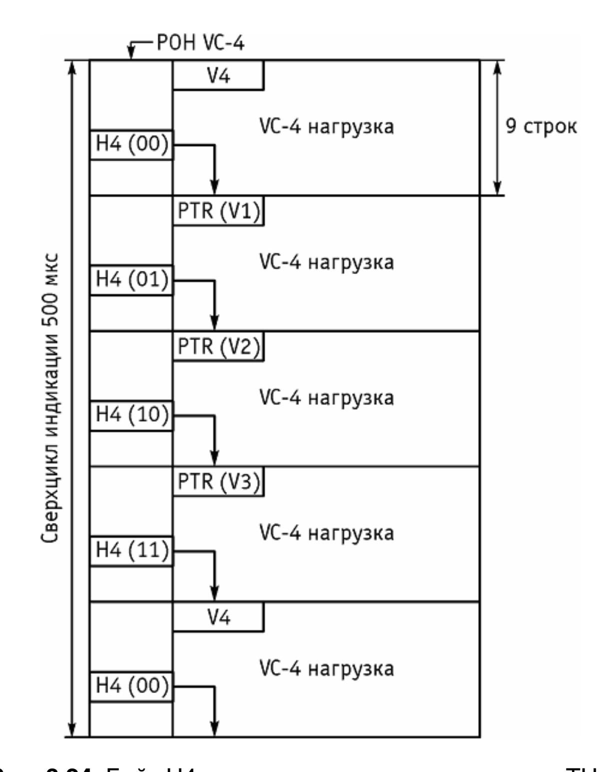


Рис. 3.24. Байт H4 в качестве индикатора нагрузки TU-12

IEC	TC-REI	OEI	TC-API, TC-RDI, ODI	
1, 2, 3, 4	5	6	7, 8	Биты

Рис. 3.25. Структура байта N1

Обозначения на рис. 3.25: IEC, Incoming Error Count — подсчет поступающих ошибок; TC-REI, Tandem Connection REI — бит сообщения об обнаружении ошибки в тандемном соединении на удаленном конце; OEI, Outgoing Error Indication — индикация блоковых ошибок для выхода VC-4; TC-API, RDI, ODI — Access Point Identifier, Remote Defect Indication — индикация точки доступа, индикация дефекта удаленной стороны, индикация выходящего дефекта.

Битами IEC кодируется число ошибок, обнаруживаемых по BIP-8. Комбинация битов 1110 — признак индикации аварийного состояния. Биты 7, 8 функционируют в сверхцикловой структуре аналогично битам 7, 8 байта N2. Также ранее рассматривались функции битов 5, 6.

3.1.3. Сцепленные виртуальные контейнеры

Формирование сцепленных виртуальных контейнеров обусловлено необходимостью предоставления прозрачного соединения в транспортной сети для пользовательского трафика, передаваемого с соответствующей скоростью. Сцепки виртуальных контейнеров подразделяются на последовательные CCAT (Contiguous Concatenation) и виртуальные VCAT (Virtual Concatenation). Сцепки типа CCAT содержат строго фиксированное число виртуальных контейнеров, требуют единого маршрута в транспортной сети и поддержки этого маршрута всеми промежуточными мультиплексорами. Сцепки типа VCAT организуются с различным числом виртуальных контейнеров (табл. 3.7), и маршруты контейнеров могут быть различными. Принципиальные внутренние различия двух видов сцепок показаны на рис. 3.26, 3.27.

Таблица 3.7. Возможности сцепки виртуальных контейнеров и эффективность соединений

Вид нагрузки	Скоростной режим, Мбит/с	Последовательная сцепка		Виртуальная сцепка	
		Контейнер	Эффективность, %	Контейнер	Эффективность, %
Ethernet	10	VC-3	20	VC-12-12v	92
Fast Ethernet	100	VC-4	67	VC-3-2v	100
Gigabit Ethernet	1000	VC-4-16c	42	VC-4-7v	95
Fibre Channel	200	VC-4-4c	33	VC-3-4v	100
Fibre Channel	1000	VC-4-16c	42	VC-4-7v	95
ESCON	200	VC-4-4c	33	VC-3-4v	100



Рис. 3.26. Структура последовательно сцепленных X(4, 16,64,256) виртуальных контейнеров VC-4-Xc

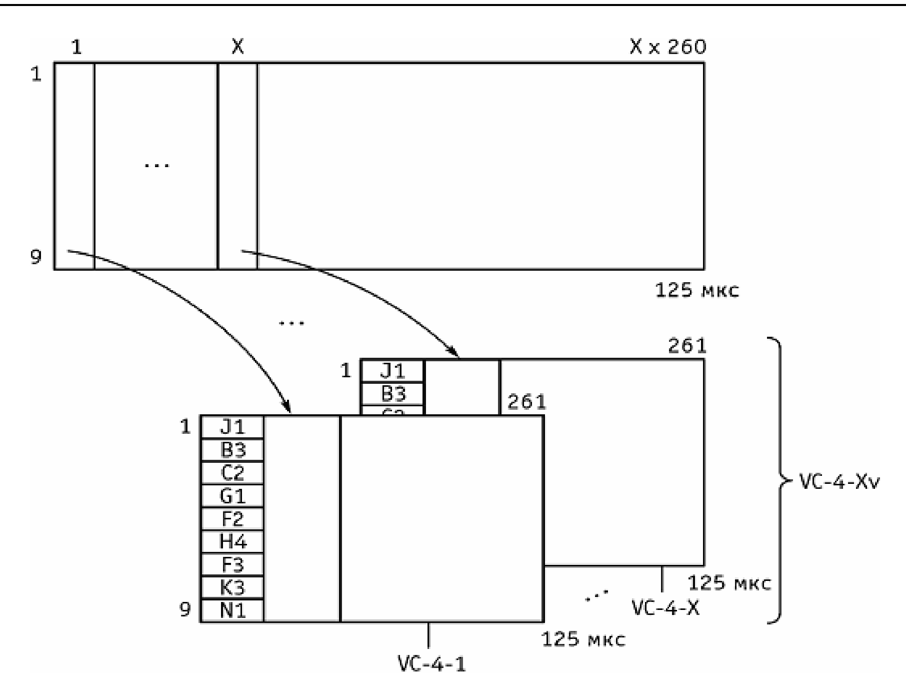


Рис. 3.27. Структура виртуально сцепленных X (X = 1…256) виртуальных контейнеров VC-4-Xv

Структура VC-4-Xc транспортируется в X AU-4. В первом AU-4 указатель PTR фиксирует начало VC-4-Xc по байту J1. В остальных AU-4 (X–1) проставляется метка сцепления, используемая для выравнивания нагрузки при изменении значения PTR.

Для спецификации виртуально сцепленных VC-4-Xv используются байты H4 заголовка POH. Это необходимо, поскольку VC-4-Xv отдельно транспортируются в сети. Спецификация каждого сцепленного виртуального контейнера производится четырьмя старшими (5…8) битами H4 в сверхцикле 512 мс. Индикатором сверхцикла выступает группа младших битов (1…4). Кроме того, H4 может поддерживать функции регулировки ёмкости канала LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme), т.е. динамичного управления числом сцепляемых контейнеров.

Аналогично структуре виртуальной сцепки VC-4-Xv выстраивается сцепка для VC-3-Xv (рис. 3.28) и для VC-12-Xv (рис. 3.29).

Так же в тракте низкого порядка с VC-12-Xv может быть задействована функция управления емкостью этого сцепленного тракта LCAS. Для этой цели используются позиции байта K4 в сверхцикле (0…31) (рис. 3.30). Осуществляется идентификация каждого сцепляемого VC-12 (циклы 6…11), поле контроля LCAS (циклы 12…15), бит групповой идентификации (цикл 16), бит запроса номера (в цикле 21), трансляция статуса индивидуального участника сцепки, т.е. VC-12-Xv, с числом от 0 до 63 в интервале времени 128 мс (циклы 22…29), контроль ошибок передачи байта K4 в интервале ошибок от $5{,}32\times10^{-9}$ до 4×10^{-70} (циклы 30…32).

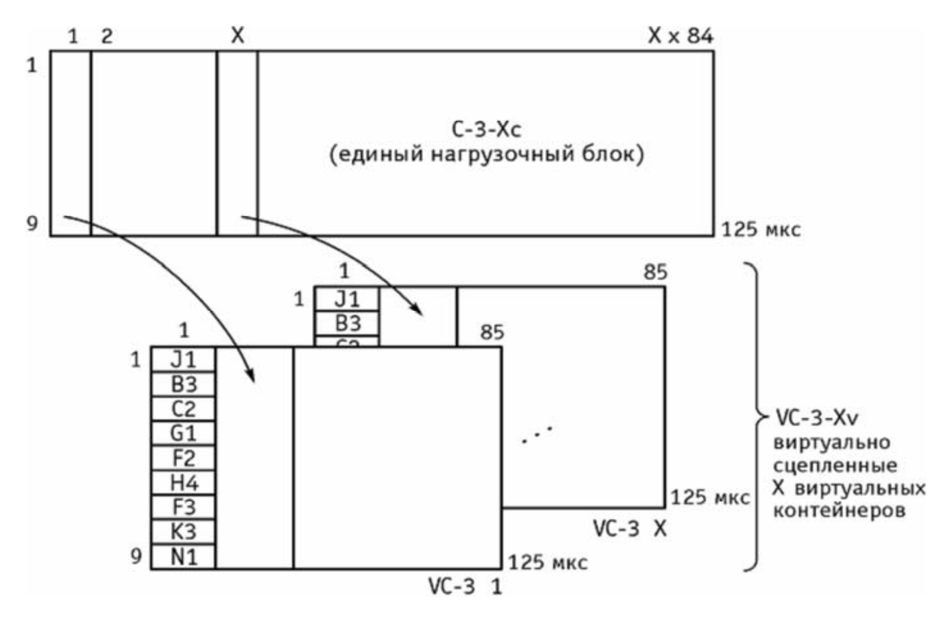


Рис. 3.28. Структура виртуально сцепленных X (X = 1, …, 256) виртуальных контейнеров VC-3-Xv

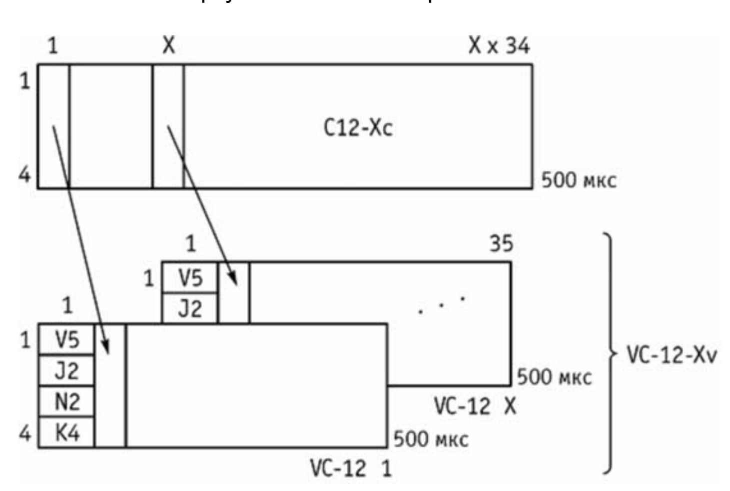


Рис. 3.29. Структура виртуально сцепленных X (X = 1, …, 63) виртуальных контейнеров VC-12-Xv

Циклы

<table>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td>32</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">Цикловый индикатор (0…31)</td><td colspan="6" rowspan="2">Индикация номера (0…63)</td><td colspan="4" rowspan="2">Поле управления LCAS</td><td rowspan="2">Группа</td><td colspan="4" rowspan="2">Резерв "0000"</td><td rowspan="2">Запрос</td><td colspan="8" rowspan="2">Статус участника сцепки</td><td>C1</td><td>C2</td><td>C3</td></tr>
<tr><td colspan="3">CRC-3</td></tr>
</table>

Рис. 3.30. Структура данных в байте K4

3.1.4. Синхронный транспортный модуль STM-N

Структура STM-N представлена ранее на рис. 3.1. Она формируется побайтовым мультиплексированием *N* — числа AUG и присоединением к этой структуре секционных заголовков SOH, которые разделяются на заголовок секции регенерации RSOH и секции мультиплексирования MSOH (рис. 3.31). На рис. 3.32–3.34 представлены примеры заголовков STM-4, STM-16, STM-64.



Рис. 3.31. Секционные заголовки STM-1



Рис. 3.32. Секционные заголовки STM-4

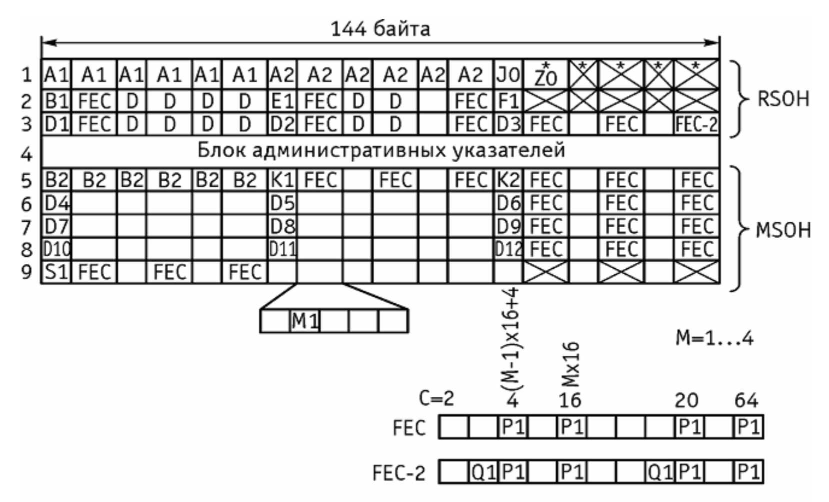


Рис. 3.33. Секционные заголовки STM-16

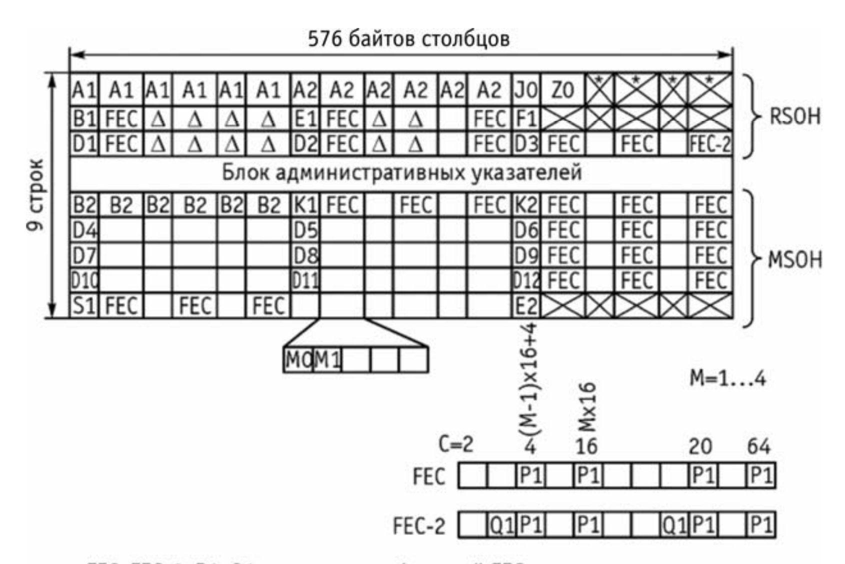


Рис. 3.34. Секционные заголовки STM-64

Байты A1, A2 определены двумя фиксированными группами битов:

A1: 11110110,

A2: 00101000.

Число этих байтов от SOH STM-1 до STM-64 возрастает пропорционально N (N = 1, 4, 16, 64). Для STM-256 заголовок уточняется относительно A1 и A2 в будущей стандартизации.

Байт J0 характеризуется как маршрут секции регенерации. Используется в шестнадцати подряд следующих STM-N. При этом один байт служит для контроля ошибок по алгоритму CRC-7, а остальные 15 байтов служат в качестве идентификатора. Структура байта J0 приведена на рис. 3.35. В примерах заголовков MSOH и RSOH (рис. 3.32–3.34) использованы следующие обозначения, описанные ниже.

Байт	Биты (1,2, ..., 8)								
1	1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	— Биты CRC-7
2	0	×	×	×	×	×	×	×	Биты идентификаторы точек доступа
3	0	×	×	×	×	×	×	×	
...	...					...			
16	0	×	×	×	×	×	×	×	

Рис. 3.35. Структура байта J0

Байт Z0 зарезервирован для будущих стандартов.

Байт B1 служит для контроля ошибок на регенерационной секции по алгоритму BIP-8.

Байты E1, E2 служат для организации канала речевой служебной связи в секциях регенерации и мультиплексирования.

Байт F1 может быть определен оператором для своих целей (канал передачи документальных или звуковых сигналов).

Байты D1–D3 образуют канал передачи данных сетевого управления в секции регенерации DCCr (Data Communication Channel regeneration) на скорости 192 кбит/с.

Байты D4–D12 образуют канал передачи данных сетевого управления в секции мультиплексирования DCCm (Data Communication Channel multiplex) на скорости 576 кбит/с. В заголовке MSOH STM-256 число байтов может быть увеличено до 156 для скорости до 9216 кбит/с.

Байты B2 используются для контроля ошибок в секции мультиплексирования по алгоритму BIP-N×24.

Байты K1, K2 (биты 1…5) используются для автоматического защитного переключения секции мультиплексирования согласно рекомендации МСЭ-T G.841. Для индикации дефекта удаленной стороны секции мультиплексирования применяют биты (6…8) байта K2.

Байт S1 определяет статус синхронизации в битах (5…8), распространяемой линейным сигналом. В табл. 3.8 представлены биты байта S1 и указаны их значения.

Необходимо отметить, что обозначения младших бит байта S1 имеют в технической литературе различную трактовку. Так рекомендацией МСЭ-T G.781 допускаются варианты трактовки комбинации бит 0010 как показателя качества синхросигнала Q1 или Q2 (согласно двоичного и шестнадцатеричного кодирования). При этом смысл обозначения одинаков: источник синхросигнала высшего качества, первичный эталонный генератор (ПЭГ) — атомные часы (водородные, цезиевые или рубидиевые). Причиной подобных разночтений являются различные международные и национальные стандарты в области телекоммуникаций. Аналогично, качество вторичного задающего генератора (ВЗГ) может иметь обозначение в двоичном коде 0100, что трактуется в одном случае Q2, а в другом — Q4. Качество генератора сетевого элемента ГСЭ обозначается

в двоичном коде 1011, что трактуется в одном случае Q4, а в другом QB и т.д. Старшие биты байта S1 не определены по своему назначению.

Таблица 3.8. Назначение битов байта S1

Биты 5…8 байта S1	Качество синхронизации
0000	Качество неизвестно
0001	Резерв
0010	Качество ПЭГ G.811 (Q1)
0011	Резерв
0100	Качество ВЗГ G.812 A (Q2)
0101–0111	Резерв
1000	Качество ВЗГ G.812 B (Q3)
1001–1010	Резерв
1011	Качество ГСЭ G.813 (Q4)
1100–1110	Резерв
1111	Для синхронизации не применять (DNU или Q6)

Байты M0, M1 применяются для сообщений об ошибках удаленной стороны (MS-REI). В STM-N ($N = 0, 1, 4, 16$) применяется байт M1.

В STM-N ($N = 64$ и 256) применяются два байта (M0, M1).

В STM-1 генерируется M1 по результатам контроля BIP-24.

В STM-4 генерируется байт M1 по результатам контроля BIP-96.

В STM-16 генерируется байт M1 по результатам контроля BIP-384.

Байт M0 расширяет пространство интерпретации ошибок в STM-64 и STM-256.

Байты FEC, FEC2, P1, Q1 зарезервированы для реализации функций упреждающей коррекции ошибок FEC (Forward Error Correction). Возможности FEC с кодами Рида-Соломона (RS) демонстрируются на рис. 3.36. Участки применения заголовков RSOH и MSOH в системе передачи SDH указаны на рис. 3.37.

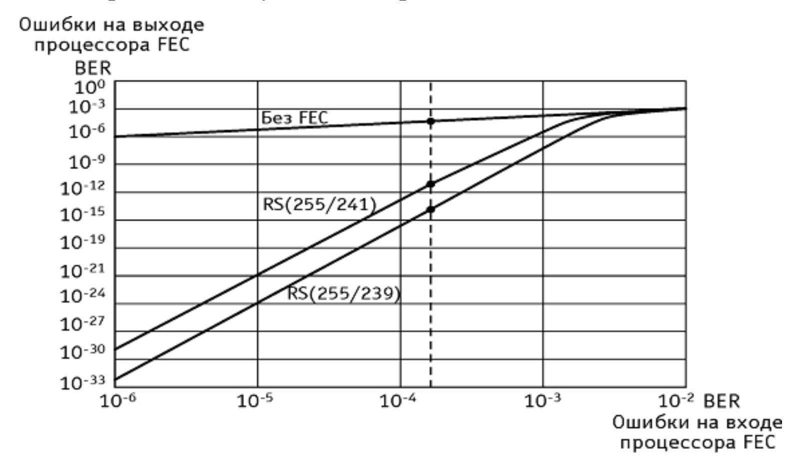


Рис. 3.36. Эффект использования FEC для повышения помехоустойчивости оптической передачи

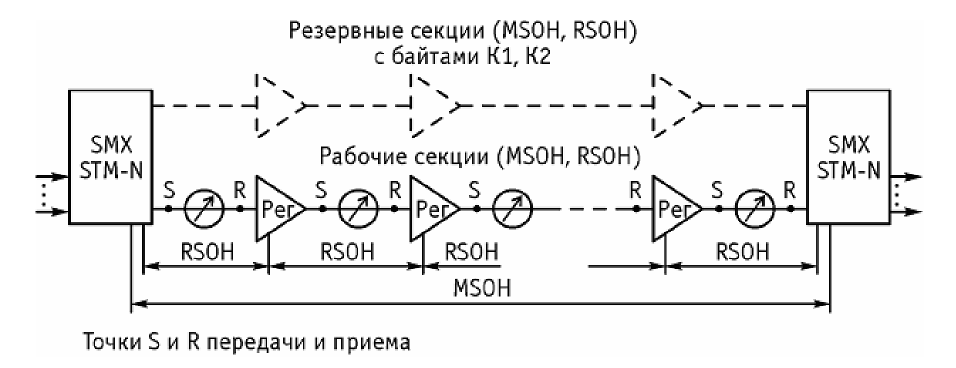


Рис. 3.37. Секционные заголовки и участки их применения в системе передачи

3.1.5. Формирование указателей PTR

Указатели административных блоков AU-n подразделяются на указатели для AU-3 и AU-4. Они одинаковы по своей структуре, поэтому рассматривается указатель PTR AU-4 (рис. 3.38). Он представлен байтами H1 и H2. Биты указателя имеют следующее назначение: N — биты флага новых данных NDF (New Data Flag); S — биты идентификатора типа AU-n; I — биты сообщения об увеличении значения PTR на единицу; D — биты сообщения об уменьшении значения PTR на единицу; 1* — байты с единичным заполнением (11111111); Y — байты с заполнением 1001SS11, S — биты не определенные по назначению.

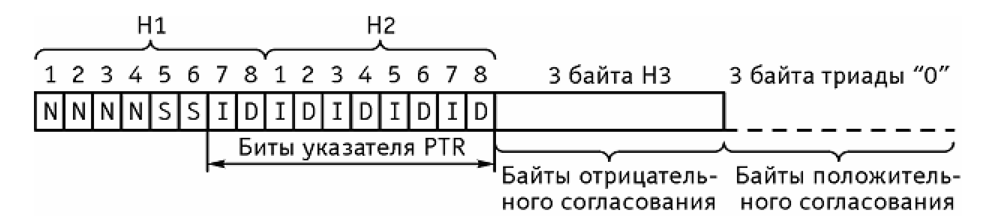


Рис. 3.38. Структура указателя (PTR) AU-4

Флаг новых данных NDF может иметь два состояния: 1001 и 0110. Первое состояние указывает на возможность изменения указателя. Второе состояние указывает на невозможность изменения указателя. Из пяти бит D или I минимум три бита должны приниматься с инверсией в случае подстройки указателя. Биты SS имеют состояние «10» для AU-4, AU-4-Xc, AU-3. В случае применения сцепления (последовательного или виртуального) значения битов SS могут быть изменены, что в настоящее время не специфицируется.

Три байта H3 и три байта, примыкающие к байтам H3 справа, используются для процедур согласования скоростей. Адресуемое пространство PTR AU-4 представляет в 10-разрядном коде числа от 0 до 1023, что недостаточно для идентификации по байтам начала нагрузки VC-4 в AU-4, т.к. число байтов AU-4 составляет 2349 (261×9). По этой

причине идентификатор PTR используется для триад байтов 783 = 2349:3. Адресуемое пространство составляет 0…782 триады байтов AU-4 (рис. 3.39).

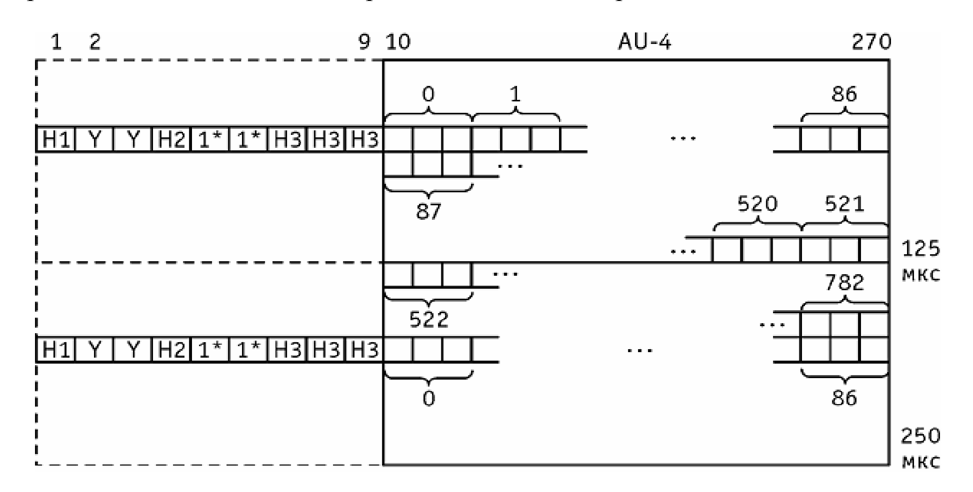


Рис. 3.39. Адресуемое пространство указателя AU-4 (0…782)

Процедуры согласования скоростей в AU-4 необходимы для компенсации изменения фазы VC-4 по отношению к AU-4, что обусловлено различием тактовых частот VC-4 и AU-4, возникающим по различным причинам (изменение длины пути, дрейф частот задающих генераторов и т.д.). Согласование скоростей связано с изменением значений указателей, которые могут возрастать или уменьшаться на единицу. Рис. 3.40, 3.41 иллюстрируют процедуры изменений указателей при подстройке под фазу VC-4.

Положительное согласование происходит в случае, если частота загрузки VC-4 ниже частоты AU-4. При этом согласовании скоростей байты триады «0» сдвигаются на одну триаду вправо в третьем цикле согласования, а в 4-ом цикле согласования значение PTR AU-4 увеличивается на единицу.

Отрицательное согласование происходит в случае, если частота загрузки VC-4 выше частоты AU-4. При этом согласовании скоростей байты триады «0» сдвигаются на одну триаду влево в третьем цикле согласования, а в 4-ом цикле согласования значение PTR AU-4 уменьшается на единицу.

Генерация и интерпретация указателя PTR AU-4 происходит в несколько этапов.

Генерация указателя в передатчике:

– прохождение нормальных операций обработки данных по размещению VC-4 в AU-4, значение флага новых данных — 0110;
– значение указателя может преобразовываться по одной из операций, перечисленных ниже.

В случае требуемого положительного согласования скоростей VC-4 и AU-4 содержимое указателя передается с инверсией бит I, и становится возможным положительное выравнивание последовательности с балластным заполнением информационной триады «0». Последовательность указателя увеличивается на единицу. Если значение указателя было 782, то он обнуляется.

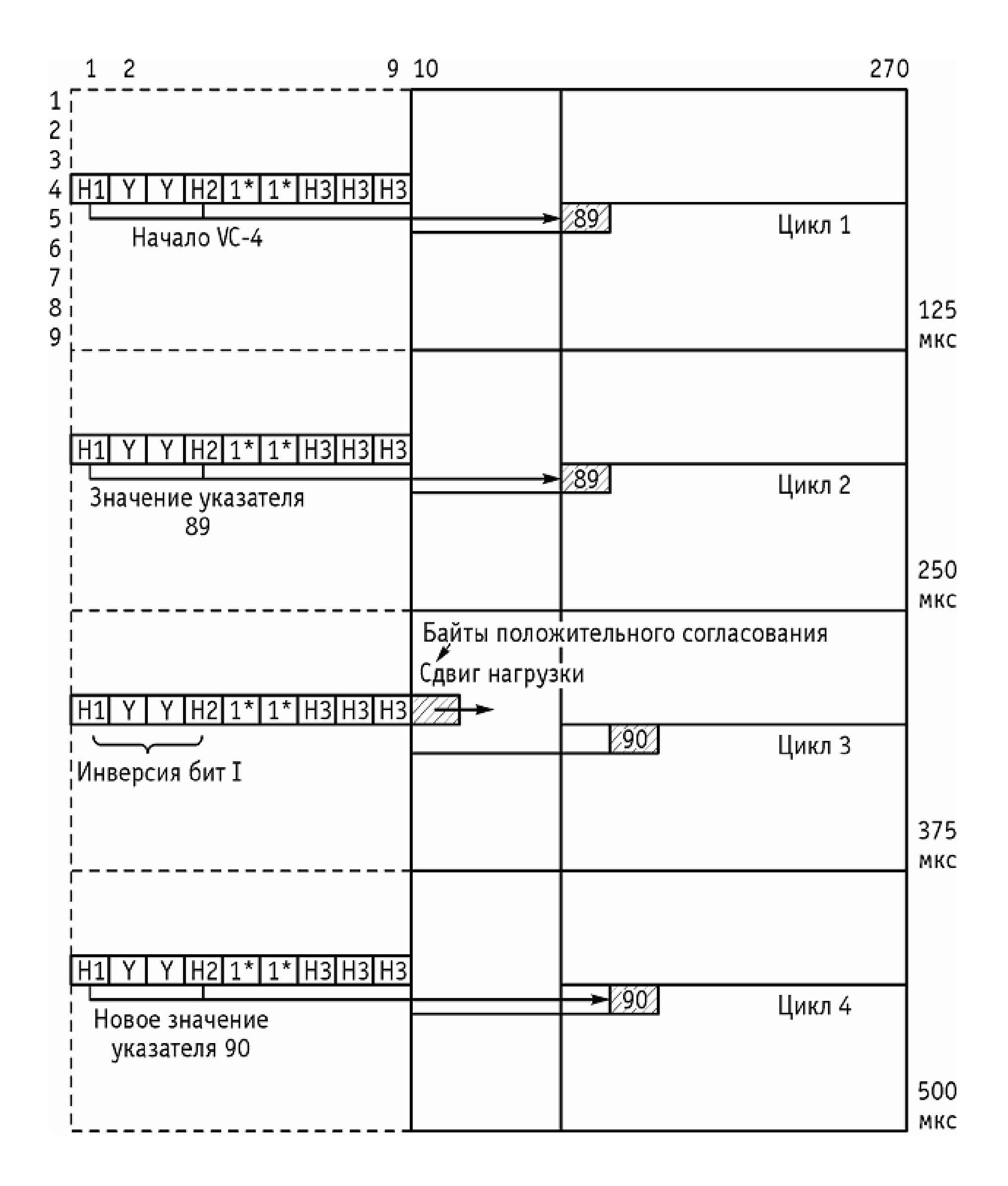


Рис. 3.40. Положительное согласование скоростей AU-4 и VC-4

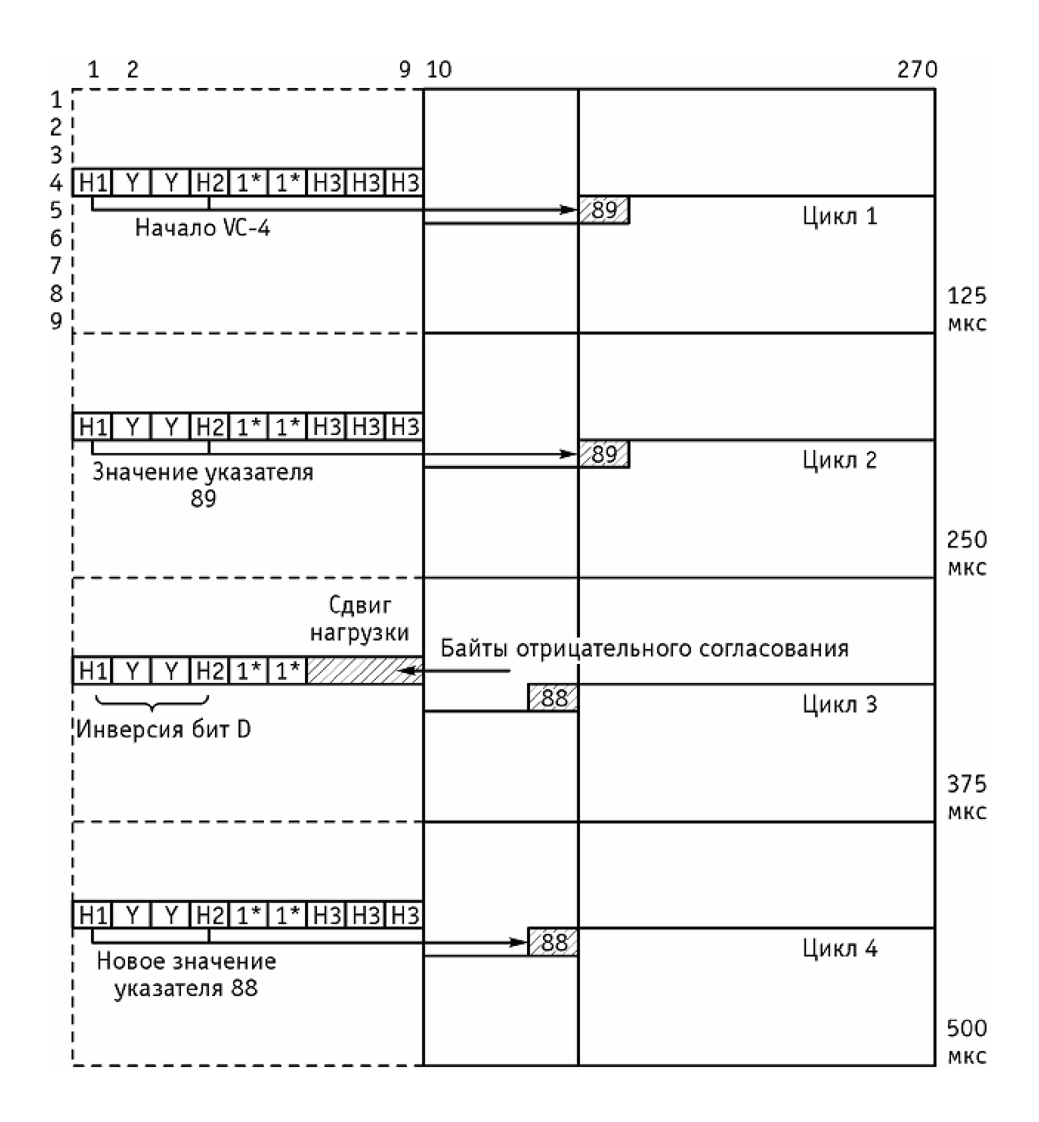


Рис. 3.41. Отрицательное согласование скоростей AU-4 и VC-4

После этой операции запрещается изменение указателя в последующих трех циклах.

В случае требуемого отрицательного согласования скоростей VC-4 и AU-4 содержимое указателя передается с инверсией бит D, и становится возможным отрицательное выравнивание последовательности с перезаписью вперед данных VC-4. Значение указателя уменьшается на единицу. Если предшествующее значение указателя было 0, то оно становится равным 782. После этой операции запрещается изменение указателя в последующих трех циклах.

Новое значение указателя сопровождается изменением флага новых данных на состояние «1001». Такой флаг передается только в первом цикле нового значения указателя. Полный цикл согласования скоростей AU-4 и VC-4 занимает 500 мкс.

Интерпретация указателя в приемнике:

– нормальное прохождение операций с указателем, обозначающим начало VC-4 в цикле AU-4;
– какое-либо отклонение в последовательности значения указателя не может быть пропущено, поскольку отклонение является признаком нового адреса, то на приемной стороне должна быть выполнена обработка указателя по одной из трех операций, перечисленных ниже:
  - если в значении указателя инвертированы биты I, то это признак положительного согласования и последовательность PTR интерпретируется на единицу больше;
  - если в значении указателя инвертированы биты D, то это признак отрицательного согласования и последовательность PTR интерпретируется на единицу меньше;
  - если NDF интерпретируется как для совпадающего нового указателя один раз, то это является индикацией нового значения указателя в приемнике и также может быть интерпретировано как потеря указателя.

Для индикации сцепки используется состояние битов указателя — 1001SS1111111111.

Структура указателя транспортного блока TU-3 аналогична структуре указателя AU-4 (рис. 3.42). При этом все биты байт H1 и H2 имеют одинаковое с AU-4 назначение. Принципиальные различия PTR AU-4 и TU-3 состоят в образуемом пространстве указателя и использовании в TU-3 одного байта H3 для отрицательного согласования и байта с адресом 0 для положительного согласования. Указатель TU-3 фиксирует начало цикла загрузки VC-3 в TU-3.

Флаг новых данных и метка типа TU-3 идентичны ранее рассмотренным в AU-4. Также аналогично функционирование PTR TU-3 при отрицательном и положительном согласовании VC-3 и TU-3.

В случае мультиплексирования трех TU-3 в структуру VC-4 и размещения последней в AU-4 и AUG, функции указателей PTR TU-3 сохраняются без изменений (рис. 3.43).

К структуре указателя транспортного блока TU-12 относятся байты V1, V2, V3, V4 (рис. 3.44).

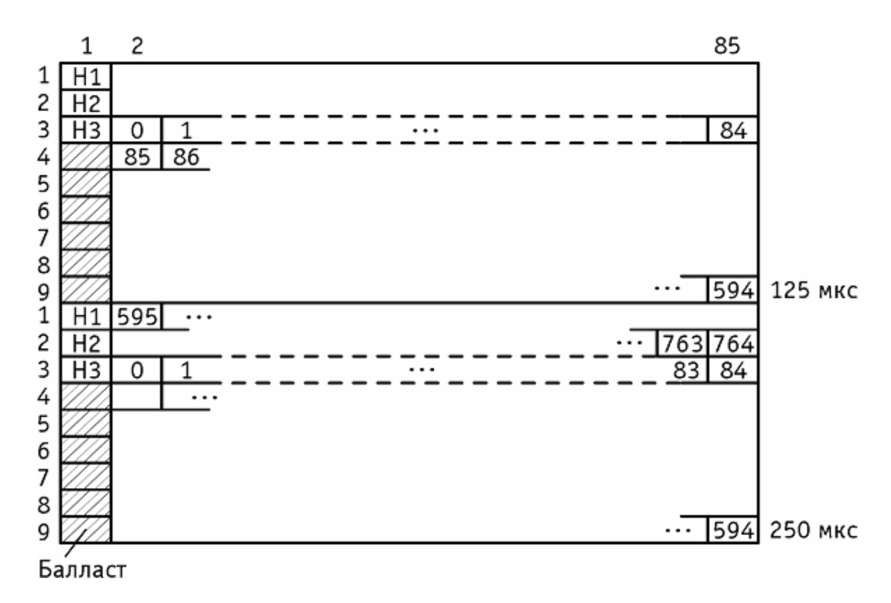


Рис. 3.42. Адресуемое пространство TU-3 (0…764)

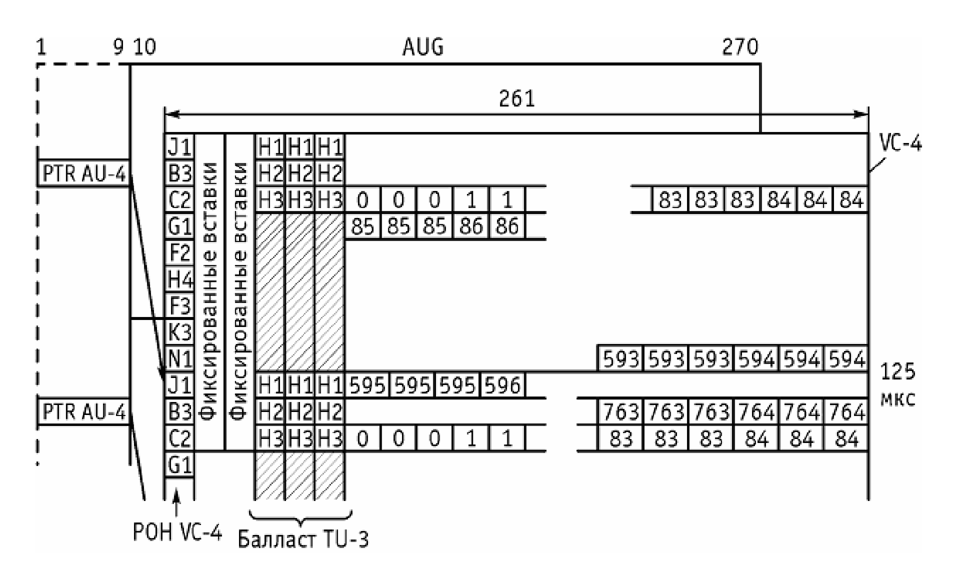


Рис. 3.43. Структура AUG с VC-4 и TU-3

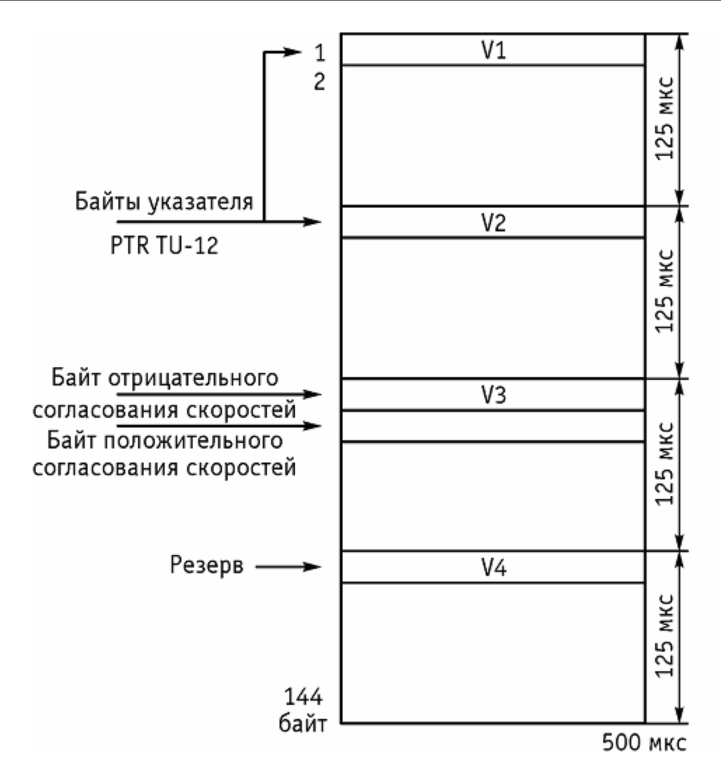


Рис. 3.44. Структура TU-12 с байтами указателя

Функции флага новых данных аналогичны ранее рассмотренным для PTR AU-4. Идентификация битами S типа TU-n соответствует: TU-11 (11); TU-12 (10); TU-2 (00).

Адресуемое пространство обозначается битами I, D и составляет 0…139 (рис. 3.45). Это пространство начинается после байта V2. Байт 35 этого адресуемого пространства, предусмотренный после V3, обеспечивает положительное согласование скоростей TU-12 и VC-12.

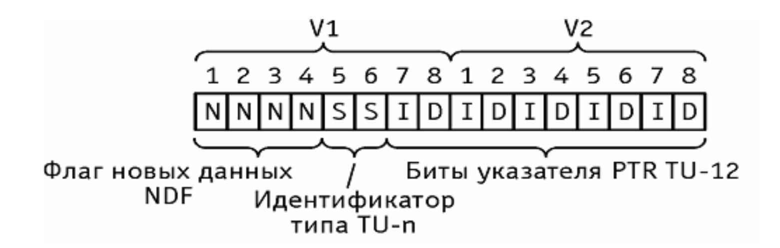


Рис. 3.45. Структура указателя TU-12

Пример размещения VC-12 в TU-12 приведен на рис. 3.46. Отрицательное и положительное согласование скоростей TU-12 и VC-12 проходит аналогично AU-4. При этом полный цикл согласования занимает 2 мс. На рис. 3.47 показано одно из возможных состояний нагрузки VC-12 в блоке TU-12.

На рис. 3.48 представлена структура флага новых данных TU-12.

Для индикации сцепки используется состояние бит указателя — 1001SS1111111111.

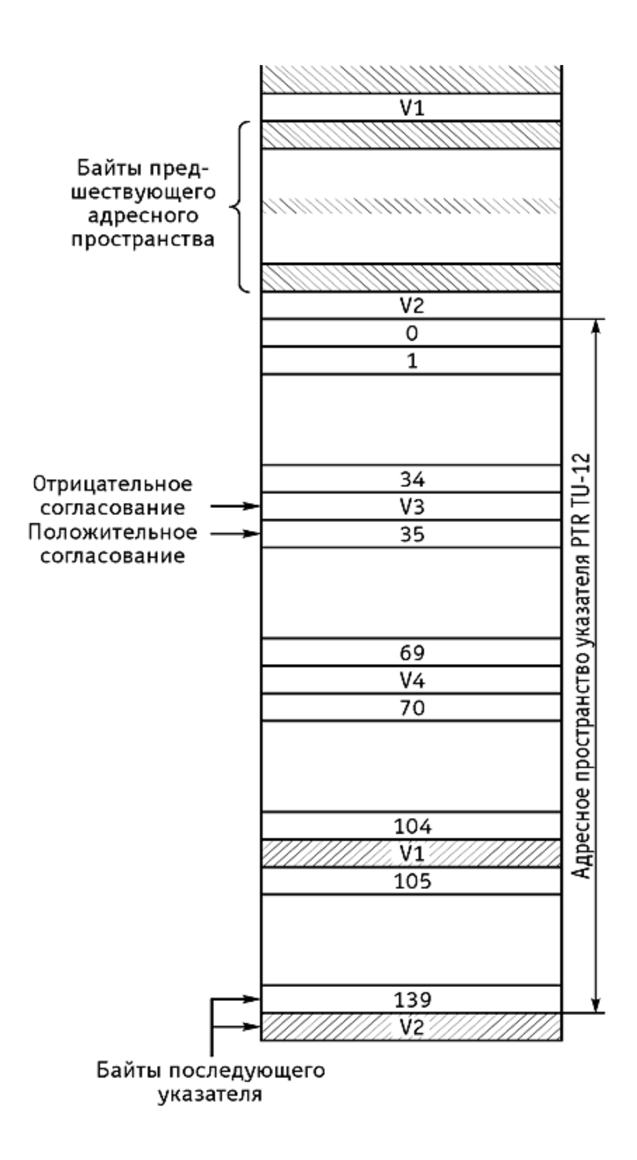


Рис. 3.46. Адресуемое пространство указателя TU-12

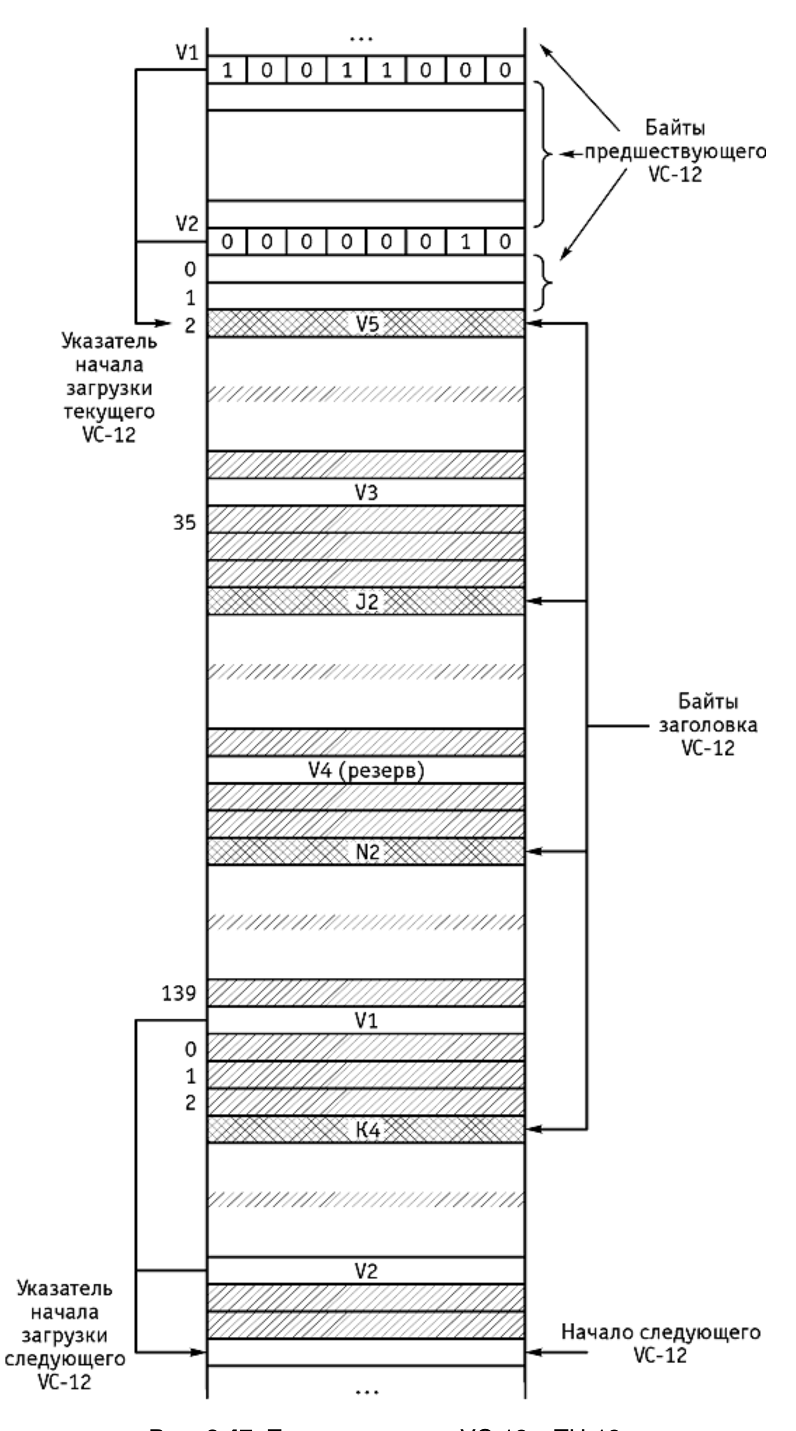


Рис. 3.47. Пример загрузки VC-12 в TU-12

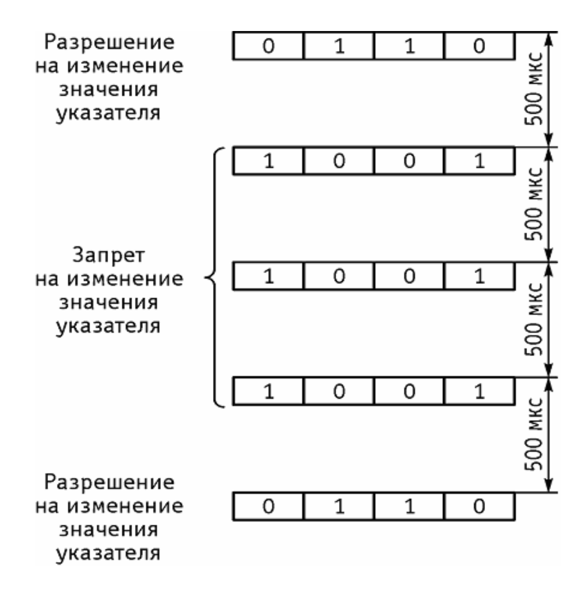


Рис. 3.48. Состояния NDF в TU-12

3.1.6. Технологические решения по контролю качества трактов и секций SDH

Важнейшей, глубоко проработанной частью технологии SDH являются решения по контролю качества всех участков транспортной сети (рис. 3.49): секции регенерации RS, секции мультиплексирования MS, тракта высокого HP(или HOVC) и низкого LP(или LOVC) порядков, процедур указателей (AU, TU), идентификации маршрутов (J0, J1, J2).

На рис. 3.49 использованы обозначения:

– PLM, Payload Mismatch — несоответствие полезной нагрузки;
– TIM, Trace Identifier Mismatch — несоответствие идентификатора маршрута;
– LOS, Loss of Signal — потеря сигнала (фиксируется со стороны линии в интервале времени $2{,}3 < T < 100$ мкс);
– LOF, Loss of Frame — потеря цикла передачи (фиксируется в интервале времени до 3 мс);
– LOM, Loss of Multiframe — потеря сверхцикла передачи VC-12, размещаемом в тракте верхнего порядка, для виртуально сцепленных VC-3/4, для виртуально сцепленных VC-12;
– LOP, Loss of Pointer — потеря указателя для AU-n, TU-m;
– AIS, Alarm Indication of Signal (MS-n, AU-n, TU-m) — индикация аварийного состояния секции мультиплексирования, административного блока, транспортного блока;
– UNEQ (Unequipped, не оборудован), виртуальный контейнер не оборудован для трактов низкого (LP) и высокого (HP) порядка (смотреть табл. 3.3 и 3.5).

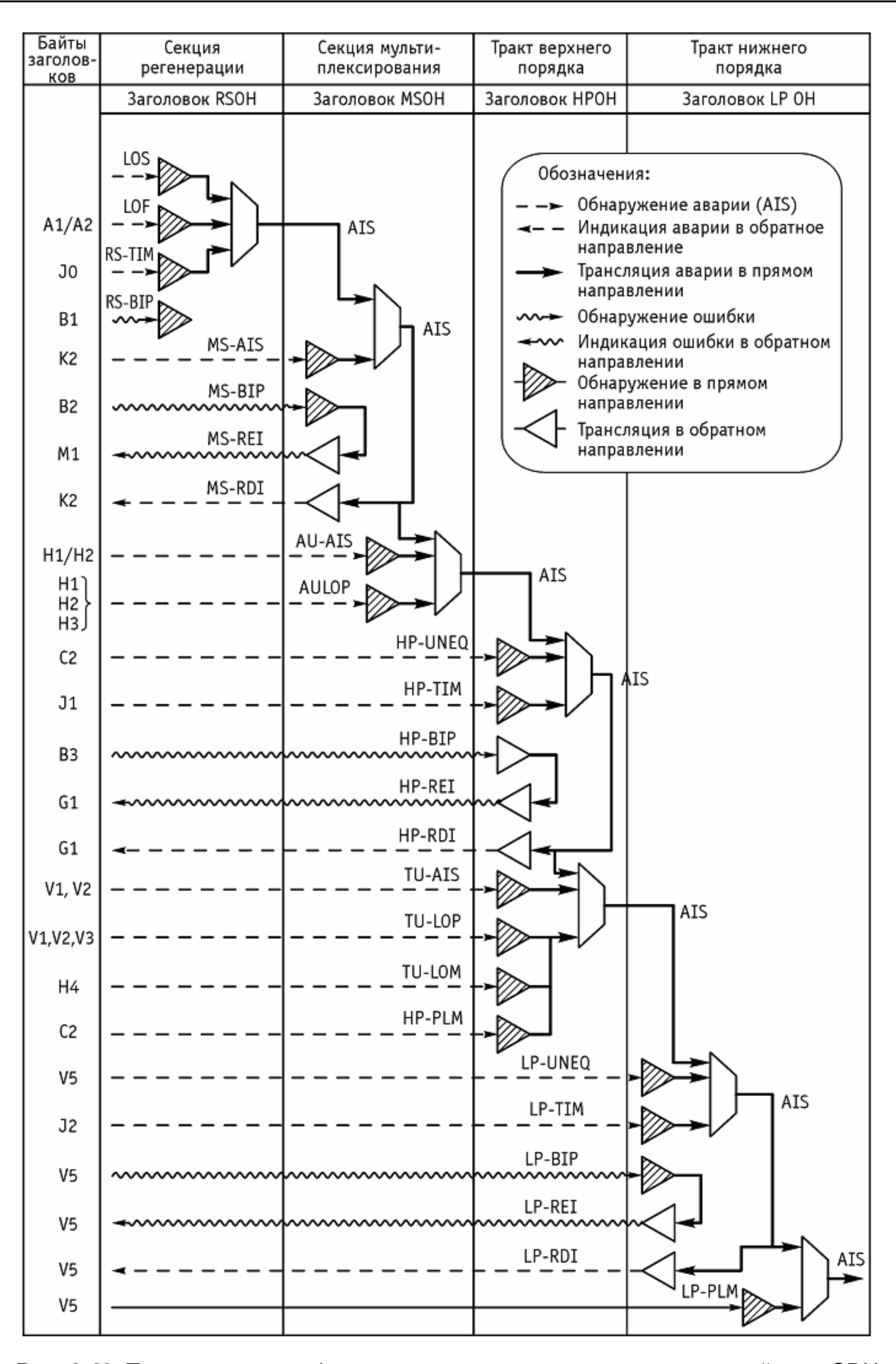


Рис. 3.49. Технологические функции контроля качества в транспортной сети SDH

3.2. Технология асинхронного режима передачи АТМ

3.2.1. Термины, определения и обозначения в АТМ

Для понимания АТМ нужно обратить внимание на две его части:
– понятие режима передачи (Transfer Mode) связано с передачей, мультиплексированием и коммутацией;
– понятие «асинхронный» (Asynchronous) означает, что информация передается пакетами фиксированной длины (определено 53 байта), что ячейки могут появляться в неправильных (неупорядоченных, нециклических) интервалах в соединении сети, что время появления ячеек случайно по причине случайности трафика (телевизионных картинок, передачи данных, речевых сообщений и т.д.).

Технология АТМ позволяет строить единую сеть услуг электросвязи и заменить, благодаря виртуальным соединениям, многие сети с коммутацией каналов, пакетов и доставкой данных без установления соединений. При этом главное достоинство — эффективное использование транспортной среды.

Обслуживание в сети АТМ зависит от ***семантической и временной*** прозрачности. Под семантической прозрачностью принято понимать способность сети обеспечивать доставку информации от источника до получателя с подходящим для данной услуги уровнем ошибок. Типы ошибок и их количество во многом определяются способом передачи информации и физической природой канала. Под временной прозрачностью в сети АТМ принято понимать её свойство обеспечивать значение времени задержки и вариации задержки (джиттера), при которых поддерживается определённое качество услуг. Время задержки определяется разницей между началом передачи пакета данных источником и окончанием приёма получателем.

Что такое АТМ?

АТМ — пакетная технология коммутации, мультиплексирования и передачи, в которой используются пакеты фиксированной малой емкости, называемые ячейками (иногда в литературе фрагментами). В ячейке постоянной емкости 53 байта для информации пользователя отведено 48 байт, а заголовок длиной 5 байтов содержит информацию, необходимую для передачи, мультиплексирования и коммутации ячейки в устройствах сети АТМ — коммутаторах. Короткие ячейки, передаваемые с очень большими скоростями (до 10…40 Гбит/с), обеспечивают сетй большую гибкость и эффективность использования.

Формат ячейки 53 байта (рис. 3.50) — компромиссное решение МСЭ-Т между предложениями европейцев — 32 байта и североамериканцев и японцев — 64 байта.

При формировании ячейки АТМ информация временно записывается, затем вносится в ячейку, и когда ячейка наполнится, она передается в сетй. Если нет информации для передачи, то передается пустая ячейка, которая поддерживает физические транспортные функции (синхронизацию приемника, контроль качества по ошибкам).

АТМ — технология коммуникации с ориентацией на соединение, т.е. до передачи данных между двумя оконечными устройствами должно быть установлено соединение. По информации пользователя сеть прокладывает путь передачи ячеек с определенной скоростью, отвечающей качеству услуг. Как правило, качество устанавливается по пи-

ковой скорости передачи ячеек. Она также поддерживает дэйтаграммные (бессвязные) услуги передачи данных без установления соединения.

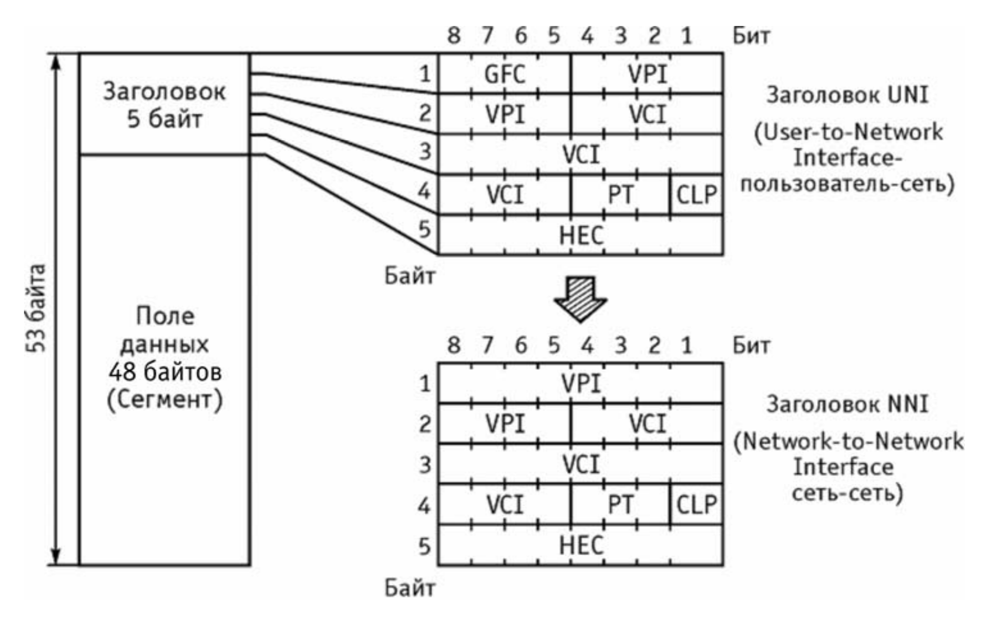


Рис. 3.50. Формат ячейки и её заголовков

Последовательность принимаемых ячеек АТМ в точке назначения соответствует последовательности ячеек посылаемых от источника.

Технология АТМ обеспечивает возможность адаптации скорости передачи к скорости генерирования информационных данных, т.е. рациональное использование емкости сети за счет статистического мультиплексирования, которое обеспечивает простую интеграцию различной исходной информации по одному физическому тракту.

АТМ независим от существующей системы передачи, т.е. физических транспортных функций. Ячейки могут размещаться в любых физических средах.

Возможности АТМ-коммутации следующие:

– контроль соединения и сброс соединения, если сеть не располагает достаточными ресурсами;
– контроль перегрузки — ограничение нагрузки в приемлемых пределах;
– распределение ресурсов сети на основе договора о выделении полосы частот (скорости) и буферной памяти;
– контроль параметров трафика, например пиковой и средней скорости в соединении.

Каждый элемент заголовка ячейки АТМ имеет определенное назначение.

– GFC, Generic Flow Control — контроль общего потока (на участке пользователь-сеть).
– VCI и VPI — идентификаторы виртуального пути и канала.

Каждая ячейка ATM содержит в заголовке адрес, состоящий из двух частей: идентификатора виртуального пути VPI и идентификатора виртуального канала VCI. Этот адрес дает уникальную идентификацию виртуального соединения ATM на физическом интерфейсе. При этом понятие «виртуальное соединение» предполагает наличие соединения по запросу пользователя, т.е. в моменты обмена данными, и при этом создается иллюзия существования непрерывного канала, но на самом деле физического соединения нет.

Заголовки ячеек бывают двух типов. Первый тип заголовка, названный UNI (User-to-Network Interface, интерфейс пользователь-сеть) (рис. 3.51), предназначен для участка сети «пользователь-сеть». Второй тип заголовка, названный NNI (Network-to-Network Interface, интерфейс сеть-сеть), предназначен для обмена между узлами сети ATM.

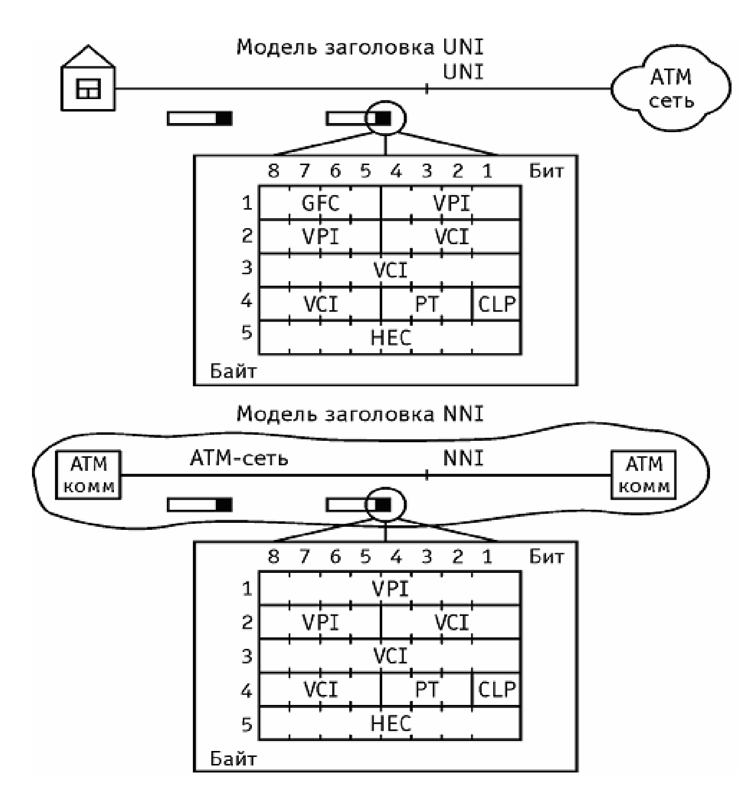


Рис. 3.51. Места использования заголовков ячеек ATM

Физический путь передачи содержит один или несколько виртуальных путей, каждый из которых состоит из одного или нескольких виртуальных каналов. VPI и VCI связаны с конкретным соединением на заданном пути передачи и имеют только локальное значение для каждого коммутатора. Коммутатор преобразует входные значения VPI и VCI в выходные (рис. 3.52). Виртуальные каналы, создаваемые в сети ATM, представлены тремя видами:

– PVC, Permanent Virtual Circuit — постоянные виртуальные каналы — это постоянное соединение между двумя оконечными станциями, которое устанавливается в процессе конфигурирования сети;
– SVC, Switched Virtual Circuit — коммутируемые виртуальные каналы, устанавливается соединение каждый раз, когда одна оконечная станция пытается адресовать данные другой оконечной станции. При этом, когда посылающая станция запрашивает соединение, сеть ATM распространяет адресные таблицы и сообщает этой станции VCI и VPI, включаемые в заголовок ячейки. SVC устанавливается динамически.

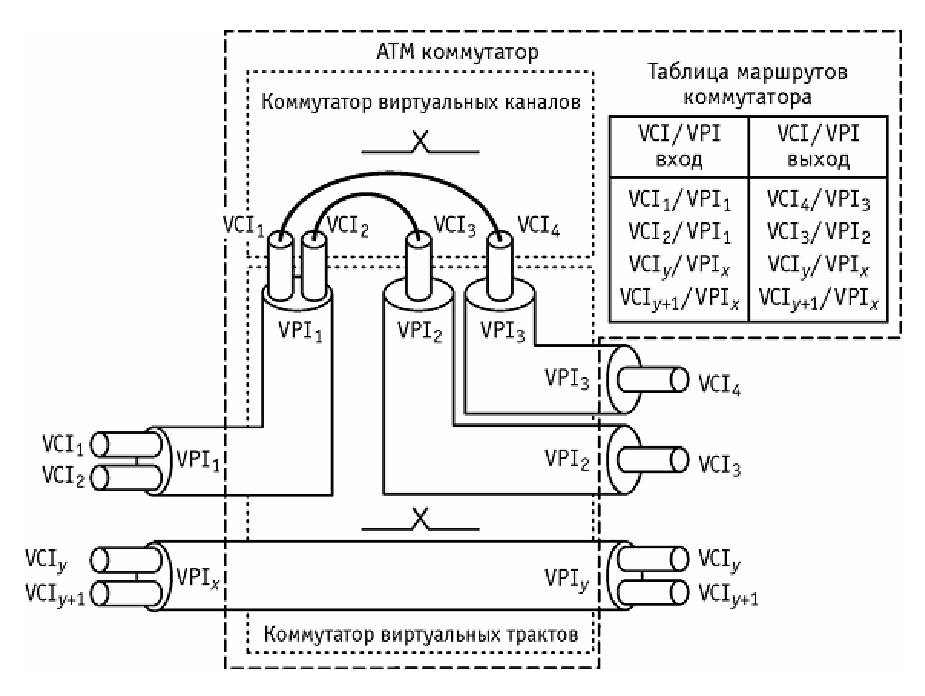


Рис. 3.52. Общая структура коммутатора ATM

SPVC — это гибрид PVC и SVC. SPVC обладает лучшими свойствами двух видов виртуальных каналов. Позволяет заранее задать конечные станции и некоторые связи, таким образом экономя время на установление соединения.

PTI, Payload Type Identificates — три бита идентификатора типа полезной нагрузки, которые используются для описания типа полезной нагрузки (табл. 3.9).

CLP, Cell Loss Priority — приоритет отбрасывания ячейки, один бит заголовка, который содержит содержит информацию о приоритете пакета ATM. Приоритет устанавливается в коммутаторе в зависимости от состояния сети. CLP = 1 — высокий приоритет потери ячейки. Ячейки выбрасываются в первую очередь при перегрузке сети. CLP = 0 — низкий приоритет потерь.

Для синхронизации между передатчиком и приемником ячеек ATM используется процедура поля контроля ошибок в заголовке HEC (Header Error Control). Поток дан-

ных первых четырех байт делится в передатчике на многочлен $x^8 + x^2 + x + 1$. Остаток от деления (8 бит) передается в поле HEC. Поле HEC для ячеек одного канала фиксировано. Приемник после каждых 53 байт фиксирует поле HEC. Если шесть раз подряд фиксируется одинаковое поле HEC, то приемник переходит в режим синхронизма. В этом режиме могут поддерживаться два состояния: обнаружение и исправление одиночных ошибок и обнаружение и неисправление многих ошибок в заголовках на определенном временном интервале [12].

Таблица 3.9. Кодирование идентификатора PTI (PT)

Кодовая комбинация	Тип потока		Индикатор перегрузки		Тип блока данных	
	Код	**Принадлежность**	**Код**	**Перегрузка**	**Код**	**Блок**
000	0	Пользователь	0	Нет	0	
001	0	Пользователь	0	Нет	1	Пользователь-пользователю
010	0	Пользователь	1	Есть	0	
011	0	Пользователь	1	Есть	1	Пользователь-пользователю
				Назначение		
100	1	Сети	0	Обслуживание (сегмент за сегментом)		
101	1	Сети	0	Обслуживание из конца в конец		
110	1	Сети	1	Административное управление сетевыми ресурсами		
111	1	Сети	1	Резерв		

В технологии ATM принято различать следующие виды ячеек: пустые (свободные); исправные; неисправные; присвоенные; без присвоенния; ячейки сигнализации; ячейки управления и обслуживания.

Пустые (свободные) *ячейки* — ячейки физического уровня сети ATM, которые предназначены для адаптации скорости передачи информационных ячеек на границе среды ATM и физической среды к емкости системы передачи. С их помощью обеспечивается непрерывность потока ячеек.

Исправные ячейки — ячейки, которые имеют заголовок без ошибок или на которых сделана коррекция на физическом уровне.

Неисправная ячейка — ячейки, заголовки которых содержат ошибки, не исправимые на физическом уровне. Такие ячейки подлежат отбрасыванию на физическом уровне, т.е. на уровне транспортировки в физической среде.

Присвоенные ячейки — определены для конкретных услуг на уровне ATM.

Ячейки без присвоения — не содержат присвоения услугам уровня ATM, но имеют значения VPI и VCI.

Ячейки сигнализации — переносят сигнальные сообщения между элементами сети для установления, поддержки или разъединения соединения в сети.

Ячейки управления и обслуживания — ячейки, которым определено переносить информацию администрирования и обслуживания (например, контроля и управления трафиком).

Потоки ячеек обеспечивают различные по качеству услуги транспортировки пользовательского трафика. Рассмотрим параметры для определения качества обслуживания QoS — Quality of Service (семантическая и временная прозрачность):

а) параметры входного контроля:

– задержка соединения — временной интервал между передачей сообщения о вхождении в сеть и сообщением-подтверждением события входа в сеть вне времени ответа вызываемого пользователя;
– задержка освобождения соединения — временной интервал между событием передачи сообщения запроса на освобождение и событием передачи сообщения ответа об освобождении соединения;
– вероятность состоявшегося соединения: соотношение успешных попыток соединения к известным попыткам запросов на соединения пользователей в продолжительном временном интервале;

б) параметры передачи ячеек:

– коэффициент ячеек с ошибками: отношение общего числа ошибочных ячеек к успешно переданным ячейкам с учетом ошибочных ячеек общего назначения CER (Cell Error Ratio);
– коэффициент потерь ячеек CLR (Cell Loss Ratio) — отношение потерянных ячеек к общему числу переданных ячеек; этот параметр может быть выражен как вероятность потери ячеек для выделенных линий равная 10^{-9};
– коэффициент неправильных ячеек CMR (Cell Misinsertion Rate) — общее число неправильных ячеек, наблюдаемое в течение специфицированного временного интервала, поделенное на продолжительность временного интервала;
– задержка передачи ячеек CTD (Cell Transfer Delay) — время между обнаружением двух событий, соответствующих передаче ячеек (посылкой на передаче и приемом на другом конце);
– вариации задержек ячеек CDV (Cell Delay Variation) — транзитные задержки в коммутаторах за определенный период времени (джиттер задержек);
– строгое отношение ошибочных блоков ячеек SE CBR (Severely — Errored Cell Block Ratio) — отношение общих строго ошибочных блоков ячеек к общему числу блоков ячеек.

в) параметры звукового сервиса выражаются через задержки передачи 20…30 мс и при этом разговор замедляется отражениями. При сборке сегмента 48 байт на скорости 64 кбит/с время задержки составляет 6 мс.

Следующие параметры качества транспортного обслуживания служат для определения категорий или классов услуг сетей ATM:

– CBR, Constant Bit Rate — постоянная скорость в битах. Категория сервиса ATM, используемая для восприимчивого к задержкам трафика, такого как аудио- видеотрансляция. Резервируется часть полосы пропускания. Гарантируется минимальная задержка доставки ячеек, содержащих аудио- и видеоинформацию. Трафик в реальное время rt;
– VBR, Variable Bit Rate — переменная скорость в битах. Категория сервиса ATM, используемая для восприимчивого к задержкам трафика (трансляции кадров телевидения). Резервирует для соединения часть полосы пропускания. Допускает задержки. Трафик в реальное(rt) и нереальное время (nrt);

– ABR, Available Bit Rate — доступная скорость в битах. Категория сервиса ATM, используемая для трафика данных. Категория ABR устанавливает допустимый диапазон полосы пропускания и допустимый коэффициент потерь ячеек. Трафик нереального времени nrt;
– UBR, Unspecified Bit Rate — неопределенная скорость в битах. Категория сервиса ATM, используемая для трафика данных типа TCP/IP, допускающего задержки. UBR не резервирует полосы пропускания для соединений. Трафик нереального времени nrt.

Параметры качества могут служить основой для разработки соглашения по трафику между пользователем и сетью.

Для контроля трафика и защиты от перегрузок в сети ATM должно планироваться соглашение по трафику между пользователем и сетью. Это соглашение распространяется на все виртуальные пути и каналы, организуемые в них (т.е. VP и VC). Соглашение заключается по следующим пунктам:
– качество обслуживания сети QoS;
– параметры трафика пользователя (поток ячеек);
– правила контроля трафика;
– определение сетью категории соединения, предоставляемого для транспортировки трафика.

Следующие параметры трафика имеют физическую сущность и измеряемы:
– пиковая скорость ячеек PCR (Peak Cell Rate);
– количество ячеек, генерируемых источником, за единицу времени;
– поддерживаемая скорость ячеек SCR (Sustainale Cell Rate), меньше или равная пиковой;
– допустимый разброс времени задержки CDV (Cell Delay Variation);
– максимальная длина пачки MBS (Maximum Burst Size) измеряется в ячейках.

Качество обслуживания определяет и тип адаптационного уровня AAL (табл. 3.10), в которой использованы обозначения:
– GFR, Guaranteed Frame Rate — гарантированная скорость блока данных;
– TCP/IP, Transmission Control Protocol/Internet Protocol — протокол управления передачей/ межсетевой протокол, протокольный набор для компьютерных сетей являющийся частью их операционных систем, например, системы UNIX.

Таблица 3.10. Типы уровней AAL

Типы AAL	AAL-1	AAL-2	AAL-3/4	AAL-5
Синхронизация между источником и получателем	Требуется	Требуется	Не требуется	Не требуется
Скорость передачи	Постоянная	Переменная	Переменная	Переменная
Категория услуг (сервиса)	CBR	VBR (rt,nrt)	ABR	UBR(GFR)
Режим соединения	На основе виртуальных каналов	На основе виртуальных каналов	На основе виртуальных каналов	Без установления соединения
Примеры	Аудио- и видеосистемы E1, n×64кбит/с	Сжатые аудио- и видеосигналы в реальном времени; пакетная передача звука, видео в нереальном времени	Трафик локальных компьютерных сетей на основе протоколов TCP/IP, дэйтаграммный метод передачи	

3.2.2. Уровни адаптации ATM

Структура уровня адаптации включает два подуровня: подуровень слияния или конвергенции CS (Convergence Sublayer) и подуровень сегментации и реагрегирования (восстановления) SAR (Segmentation and Reassambly Sublayer).

Подуровень CS согласует транспортируемые данные со средой разбиения данных на сегменты и восстанавливает данные после выгрузки из сегментов в сторону потребителя. При этом восстанавливается синхронизация. Подуровень сегментации формирует сегменты определённого класса услуг и типа AAL. Он обеспечивает формирование служебных сообщений сегментов и их использование при восстановлении данных в сторону потребителя.

Сервис уровня AAL-1 называют услугами 1-го класса (или категории А) и предоставляют пользователю сети с постоянной скоростью (CBR). По всей линии передачи характеристики передачи данных определены, и время доставки данных строго ограничено. Этот класс услуг имеет следующие характеристики:

– трафик представляет собой поток данных в виде блоков по 193 бита, передаваемых каждые 125 мкс;
– трафик чувствителен к изменениям задержки;
– трафик не допускает потери информации;
– трафик чувствителен к сжатию.

Функции, реализуемые в AAL-1, состоят в следующем:

– сегментация и восстановление информации пользователя;
– управление отклонением времени задержки ячейки;
– управление искажениями и неверно введенными ячейками;
– восстановление источника синхронизации;
– наблюдение за ошибками байтов и управление этими ошибками;
– генерация и обнаружение структурного указателя.

Возможности сервиса класса А определяют возможности передачи звука, изображения и данных в реальном времени с постоянной скоростью. При этом информация может быть структурирована, т.е. представлена по байтам, или не структурирована, т.е. передаваться по битам, и размещаться в 48-байтовых полях полезной нагрузки (рис. 3.53).

Заполнение 48-байтового поля обусловлено протоколом структурирования данных для сегментации и сборки SAR-PDU (Segmentation and Reassambly Sublayer — Protocol Data Unit).

Порядковый номер поля позволяет отделить пустые и неисправные ячейки от ячеек с информацией. Защита номера поля предназначена для обнаружения ошибок с помощью процедуры CRC и исправления одиночной ошибки. Участок, обозначенный SAR-PDU, несет необходимую полезную нагрузку. При этом в первом байте SAR-PDU фиксируется указатель структурирования.

На уровне AAL-1 обрабатываются сигналы реального времени, чувствительные к задержкам передачи (например, речевые сообщения). Для поддержки услуг самого высокого класса (категории А) необходимо выполнение условий синхронизации источника и приёмника сигнала. Сеть ATM, являясь транспортной средой, как правило, имеет собственный высокостабильный синхронизм. Однако источник и приемник информа-

ционных сигналов не всегда имеют общий синхронизм с ATM. По этой причине может возникать большое расхождение тактовых механизмов источника и приемника сигналов. Таким образом, сеть ATM не будет полностью «прозрачной» транспортной средой для сигналов. Поскольку сеть ATM основана на передаче ячеек, то характеристика частоты источника синхронизма на приемной стороне может зависеть от сегментации ячеек и задержки возможных случайных смешиваний. Маршрут извлечения источника синхронизма принадлежит пользовательскому соединению типа «точка-точка», построенному по принципу буферизации «первый пришел первый вышел» (FIFO, First In First Out) в выходном буфере, например, для E1 с регулировкой частоты записи-считывания. Частота считывания не может быстро меняться и подстраиваться под дрожание фазы приходящих импульсов. При этом может быть нарушено требование по стабильности синхронизма, например, для E1, согласно рекомендации МСЭ-Т G.703, требование стабильности составляет 50×10^{-6}. Поэтому важнейшей функцией AAL-1 может быть восстановление с требуемой точностью тактовой частоты. Рекомендацией МСЭ-Т I.363.1 определен метод введения синхронной остаточной временной метки SRTS (Synchronous Residual Time Stamps). Эта метка вводится в сегмент AAL-1 (рис. 3.54) в виде p-бита CSI.

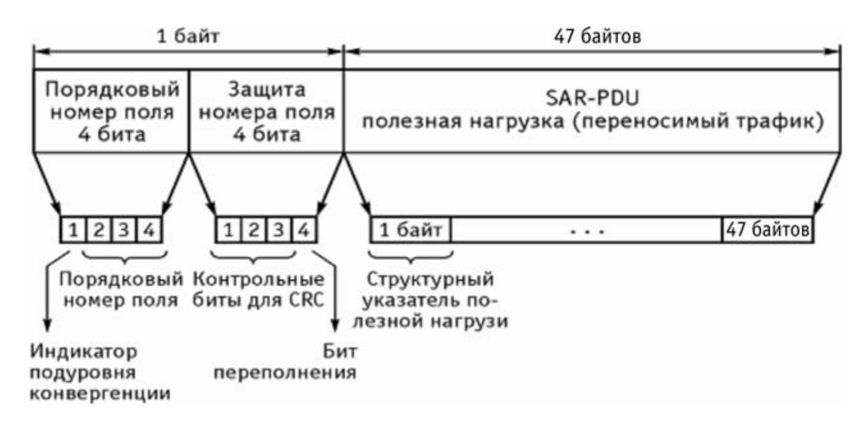


Рис. 3.53. Формат структурированных данных в AAL-1

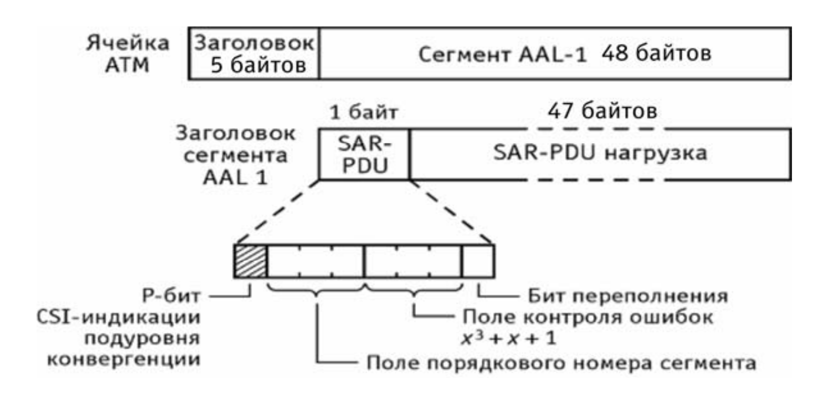


Рис. 3.54. Структура ячейки ATM с сегментом AAL-1

Метка представляет собой четырехбитовое слово, переносимое в восьми подряд следующих сегментах. Метка вычисляется на передаче как разность частот сигнала (например, E1) и тактовой частоты ATM-сети, которая просто вычисляется:

$$f_{\text{ATM}} = \frac{155{,}52}{2^x}\ \text{МГц},$$

где x выбирается таким образом, чтобы переносимая частота была выше частоты тактов компонентного сигнала. Для E1 значение $x = 6$ и частота тактирования равна 2,43 МГц. Для E3 значение $x = 4$, частота тактирования равна 38,88 МГц. При этом частота E1 делится на число $N = 3008$ (общее число битов данных в восьми сегментах) и используется как затвор четырех битов (р-бит) счетчика для частоты 2,43 МГц (рис. 3.55).

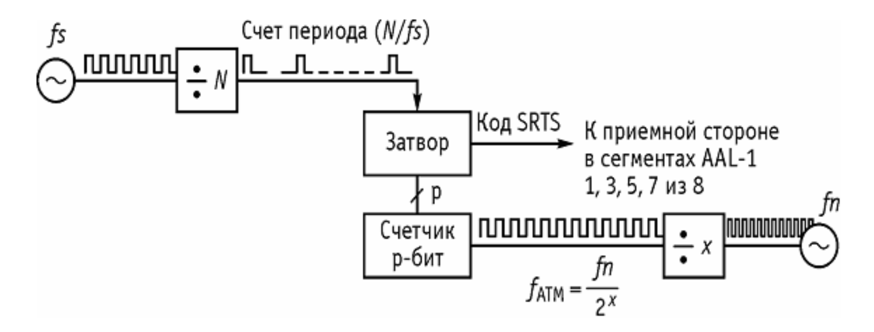


Рис. 3.55. Формирование SRTS

На приемной стороне частота местного генератора кода SRTS сравнивается с частотой источника SRTS передающей стороны. Разность двух кодов SRTS используется для выравнивания локальной частоты синхронизации, с которой информационные данные из сети ATM поставляются в сеть потребителя. Пример услуг AAL-1 приведен на рис. 3.56.

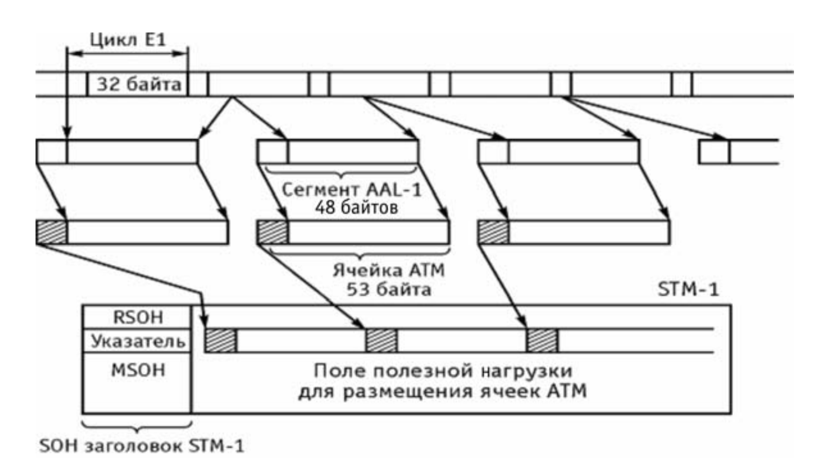


Рис. 3.56. Пример отображение циклов E1 в ячейках ATM

Сервис уровня AAL-2 называется услугами 2-го класса (или категории B) и предоставляется пользователю сети с переменой скоростью VBR для пакетированных, сжатых данных.

Сжатие данных для передачи звука и видео приводит к пульсирующему во времени трафику, поэтому его характеризуют как «взрывной» (пиковый). Каждая ячейка, формируемая AAL-2, должна быть снабжена временной меткой для реагрегирования и формирования непрерывного потока данных на приеме. Особенной характеристикой трафика, формируемого AAL-2, является очень сильная чувствительность к искажениям информации при передаче.

Функции, реализуемые в AAL-2, заключаются в следующем:

– сегментация и реагрегирование пользовательской информации;
– управление переменной задержкой ячейки;
– управление искаженными ячейками;
– восстановление синхронизма источника и приемника;
– контроль за битами ошибок и управление этими ошибками;
– просмотр поля пользовательской информации для обнаружения и исправления ошибок.

Для AAL-2 формат структурированных данных состоит из трех полей: поля заголовка, поля полезной нагрузки (то есть переносимого трафика) и хвостовой части (рис. 3.57).

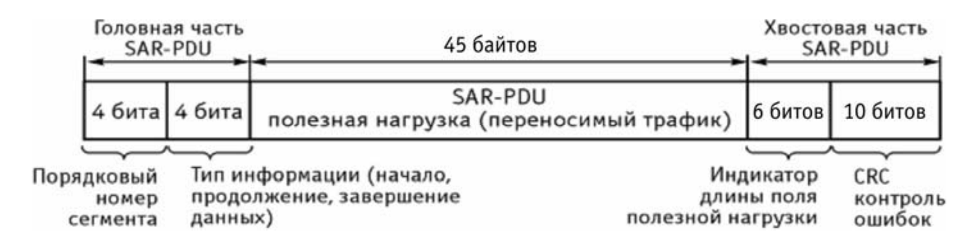


Рис. 3.57. Формат данных AAL-2

Порядковый номер сегмента служит для отделения пустых и ошибочных ячеек от информационных. Индикатор типа информации, следующий за порядковым номером, указывает на тип передаваемой части информации, т.е. на начало передачи, продолжение передачи и завершение передачи данных. Хвостовая часть SAR-PDU содержит индикатор длины поля полезной нагрузки и блок контроля ошибок поля полезной нагрузки процедурой CRC. Хвостовая часть формата SAR-PDU для AAL-2 позволяет защитить от ошибок поле информационной нагрузки и головную часть.

Размещение SAR-PDU в ячейке ATM и последующее размещение на физическом уровне аналогично AAL-1 (рис. 3.57), однако, при пульсирующем трафике ячеек промежутки могут быть заполнены пустыми ячейками для выравнивания скоростного потока на физическом уровне.

Адаптационные уровни AAL-3 и AAL-4**,** объединены одним классом сервиса для передачи данных, допускающих задержки, но различаются тем, что AAL-3 ориентирован на соединение пользователей через виртуальный канал с доступной скоростью передачи, а AAL-4 не ориентирован на соединение.

К особенностям характеристик класса сервиса AAL-3/4 относят следующее:

– передаваемая информация может иметь «взрывной» характер и переменную длину блоков;
– отсутствуют жесткие требования к задержкам передачи, что недопустимо в классах услуг A и B, т.е. для передачи звука и видео;
– возможна буферизация информации и ее следование к месту назначения разными путями.

Особенности характеристик AAL-3/4 отражены на структурах сегментов полезной нагрузки SAR-PDU (рис. 3.58, 3.59). Первый рисунок отражает структурированную передачу данных в виде единых блоков IDU (Interface Data Unit), т.е. точно одного блока. Второй рисунок отражает возможность передачи одного или нескольких IDU, которые могут быть разнесены во времени.

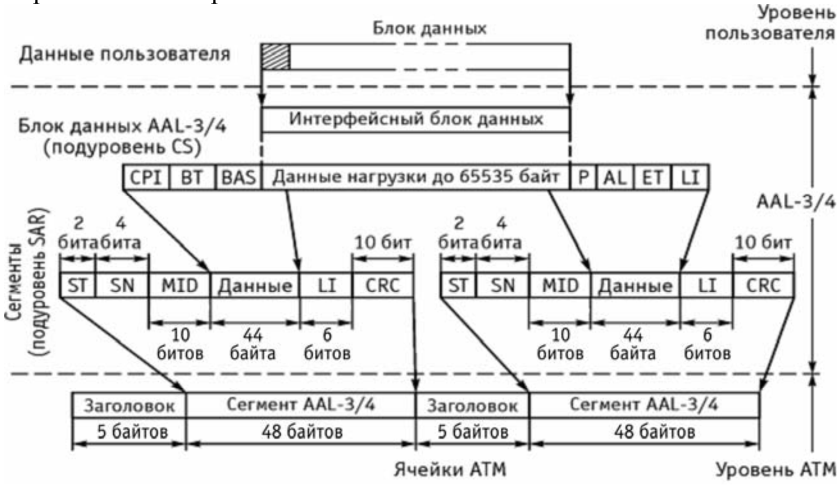


Рис. 3.58. Структура протокольного блока данных AAL-3/4 для передачи сообщений

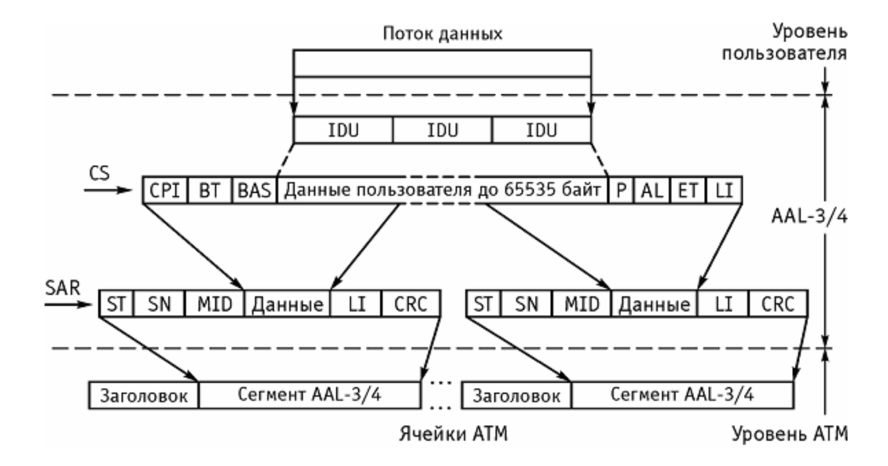


Рис. 3.59. Структура протокольного блока данных AAL-3/4 (передача потока)

Головная часть сегмента содержит: указатель типа сегмента, порядковый номер, идентификатор мультиплексирования. Тип сегмента представлен двумя битами и указывает на начало пакетирования, непрерывность или продолжение информации в пакете и сообщение о завершении информационного блока. Следующие четыре бита заголовка предназначены для порядкового номера сегмента. Каждый последующий сегмент содержит номер на единицу больший предыдущего. Десять битов идентификатора мультиплексирования головной части SAR-PDU используются как вспомогательные для отделения сервисных данных, предназначенных для обслуживания уровня ATM, от потока данных, направляемых на подуровень конвергенции уровня AAL, а также разделения на подуровне конвергенции данных, передаваемых другими сегментами.

Второе большое поле SAR-PDU — это поле полезной нагрузки (или переносимого трафика), состоящее из 44 байтов. Если это поле не полностью заполнено данными, то свободный остаток заполняется нулями.

На рис. 3.58, 3.59 использованы сокращения: CPI, Common Part Indicator — индикатор основного поля; BT, Begin Tag — поле начала; BAS, Buffer Allocation Size — размер буфера; P — поле выравнивания нагрузки; AL, Alignment — поле выравнивания; ET, End Tag — поле конца; LI, Length Indicator — индикатор длины; ST, Segment Type — тип сегмента (2 бита); SN, Segment Number — порядковый номер; MID, Multiplexing Identifier — идентификатор мультиплексирования; CRC, Cyclic Redundancy Check — циклический избыточный код.

Хвостовая часть сегмента состоит из двух небольших полей: индикатора длины полезной нагрузки и битов контроля ошибок процедуры CRC.

Индикатор длины состоит из 6 битов и содержит число, указывающее число байтов информационных данных, включенных в поле полезной нагрузки SAR-PDU. Его максимальное значение равно 44 байтам. Поле контроля ошибок процедурой CRC состоит из 10 битов и формируется логически на передающей стороне из битов сегмента.

Уровень AAL-5, обеспечивает предоставление сервиса класса 5 (или категорий C и D). Этот класс услуг предложено использовать для компьютерных сетей и передачи данных в следующих вариантах (рис. 3.60):

– в качестве AAL-5 может выступать AAL-3/4, но с упрощенным заголовком;

– для загрузки пакетов по протоколу TCP/IP.

Класс услуг AAL-5 предполагается использовать в локальных масштабах. При этом из поля сегмента удалены служебные биты. Тип сообщения (начало, продолжение и конец) отмечается в PT поля заголовка ячейки ATM. Это могут быть метки: 0x1 — конец данных; 0x0 — начало или продолжение данных (x = 1 или x = 0).

На уровне конвергенции AAL-5 происходит формирование блока данных с присоединением к данным пользователя хвостовой части из 8 байт, образующим четыре поля служебной информации.

Первое поле состоит из одного байта UU (User-to-User, пользователь пользователю), предназначенного для индикации участка цепи от пользователя к пользователю. Второе поле CPI (Common Part Indicator, индикатор общей части) также состоит из одного байта и предназначено для идентификатора тракта передачи. Третье поле LI (Length Indicator, индикатор длины), состоящее их двух байтов, служит для раздела блоков данных. Четвертое поле, состоящее из четырех байтов, может быть использовано для контроля ошибок в блоке данных на основе процедуры CRC. Необходимо отме-

тить, что руководящие документы по уровню AAL-5 не предусматривают обязательное использование двух последних полей.

Поле выравнивания используется в случае, когда объём пользовательской информации не кратен 48 байтам. Полезная нагрузка может иметь величину до 65535 байтов.

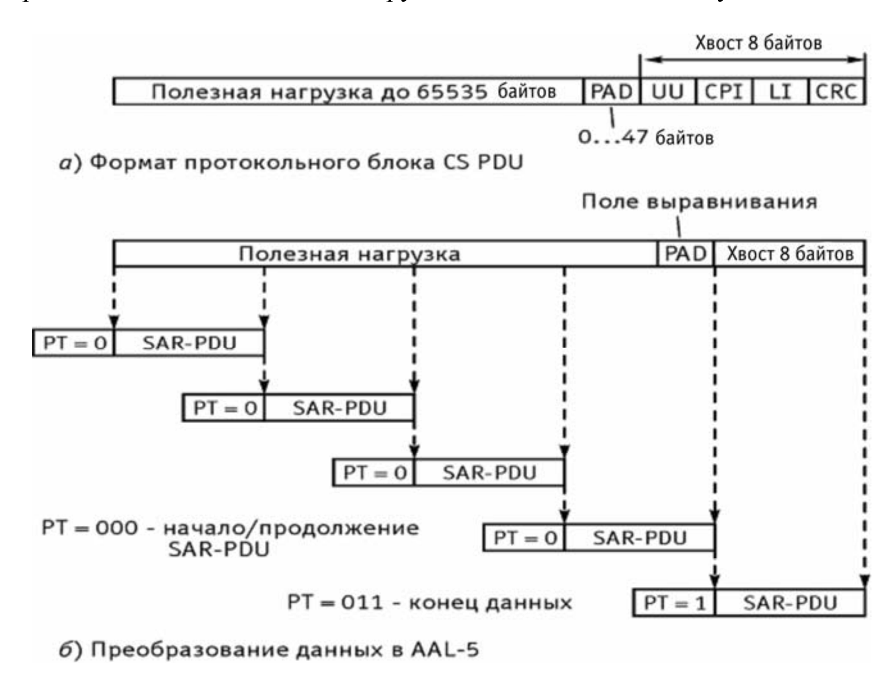


Рис. 3.60. Протокольный блок и преобразование данных в AAL-5
UU (User-to-User) — поле индикатора «пользователь-пользователь»

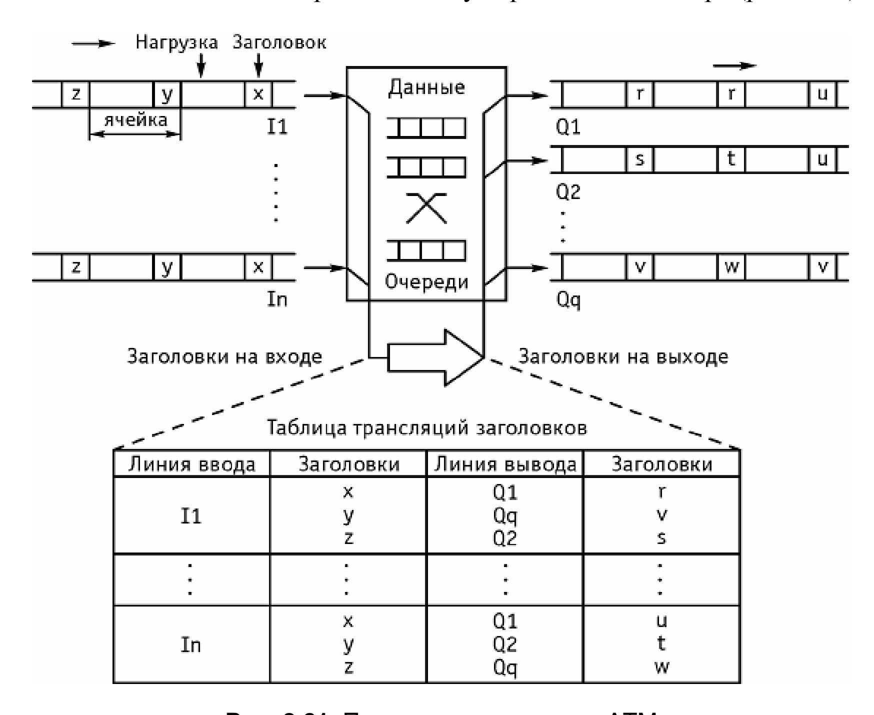
3.2.3. Функции уровня АТМ

Характерная особенность функций этого уровня — независимость от функций физической среды. Уровень АТМ в отличие от других уровней имеет простые (прозрачные) состояния функций: коммутация ячеек; генерация и извлечение заголовков; контроль скорости передачи информации по каналам; мультиплексирование и демультиплексирование ячеек; контроль правильности заполнения заголовков; управление потоком ячеек.

Управление потоком ячеек необходимо для устранения перегрузок коммутаторов сети. Генерация, извлечение и контроль заголовков необходимы при изменении маршрутизации ячеек в коммутаторах (VPI и VCI), а также для приема ячеек от физического уровня и передачи их на уровень адаптации.

Мультиплексирование и демультиплексирование ячеек необходимо для организации непрерывного потока ячеек в физической среде. Составной поток ячеек различных пользователей и услуг — это нормальный непрерывный поток ячеек. На приемной стороне непрерывный поток демультиплексируется (разделяется) на индивидуальные ячейки по назначенным адресам (VP и VC).

Коммутация в ATM — это основа любой сети с асинхронным режимом передачи. В процессе установления соединения, коммутатор строит специальную таблицу ассоциаций (взаимосвязей), которую называют таблицей коммутации или маршрутизации. Эта таблица указывает, как коммутатор должен передавать трафик с определенными идентификаторами VPI/VCI. При получении ячейки эти идентификаторы проверяются коммутатором и сравниваются с содержимым таблицы. По результатам сравнения определяются выходные значения идентификаторов, которые должны быть занесены в заголовок ячейки. Также определяется выходной порт, через который она должна быть отправлена. После определения коммутатором направления пересылки ячейки, он изменяет содержимое полей VPI/VCI в ее заголовке и передает ячейку через выходной порт (рис. 3.61).



Линия ввода	Заголовки	Линия вывода	Заголовки
I1	x y z	Q1 Qq Q2	r v s
:	:	:	:
In	x y z	Q1 Q2 Qq	u t w

Рис. 3.61. Принцип коммутации в ATM

Коммутаторы имеют определенное число входных и выходных портов. На основе примера (рис. 3.61) возможно отметить размерность коммутатора по числу входов n и выходов q. При этом возможно $n \neq q$ и $n = q$. Случайно поступающие на входы ячейки могут одновременно претендовать на одни и те же выходы, что может приводить к конфликтам. Поэтому для обслуживания потока ячеек могут применяться буферы памяти, в которых организуются очереди на обслуживание. Это исключает или уменьшает вероятность конфликтов ячеек и их потери.

Все выполняемые коммутаторами ATM функции можно свести к двум основным:

– внутренняя коммутация ячеек;

– мультиплексирование и демультиплексирование потока ячеек.

Коммутация в ATM имеет аппаратную и программную реализации.

Аппаратная реализация предполагает наличие двух компонентов:
– коммутационной сердцевины (основы);
– коммутационных интерфейсов.

Программная реализация коммутации АТМ включает следующие функции:
– управления трафиком;
– управления обслуживанием;
– управления системными функциями;
– управления соединением;
– управления конфигурацией (оборудования и сети);
– управления повреждением;
– управления безопасностью.

Коммутационный интерфейс выполняет функции адаптера в каждом случае, когда необходимо установить связь между сердцевиной АТМ-коммутатора и устройствами ввода. Функции коммутационных интерфейсов возложены на контроллеры ввода-вывода. Эти контроллеры адаптируют скорость и формат ячеек АТМ к коммутационной сердцевине на входе и к среде передачи на выходе. Обработка ячеек в коммутационном интерфейсе сводится к следующим функциям: введение и выведение ячеек, идентификация ячеек VP и VC, общее информирование по маршрутизации ячеек в коммутаторе и выделение негодных ячеек для блокировки, синхронизация ячеек.

Коммутационная сердцевина содержит: концентратор, мультиплексор, коммутационную матрицу. Вспомогательным устройством коммутационной сердцевины является управляющий элемент. Концентратор обеспечивает объединение низкоскоростных потоков с переменными скоростями в высокоскоростной поток таким образом, чтобы согласовать скорости интерфейса и коммутатора.

Мультиплексор используется в коммутационной сердцевине для высокоскоростных потоков. В нем происходит процесс поочередного мультиплексирования ячеек от разных входов.

Коммутации в мультиплексоре и концентраторе нет. Коммутационным узлом является только коммутационное устройство. Существует несколько типов коммутационных устройств: с коллективной памятью; с общей шиной; с пространственным разделением и т.д. Каждый из типов коммутаторов отвечает основным требованиям: минимальной потере ячеек и сохранению порядка следования при ограниченных возможностях по скорости и числу входов/выходов. Требование минимальной потери ячеек (одна на 10^{12}, или одна-две ячейки в час) и требование очередности налагают на схему коммутатора жесткие ограничения по сложности, быстродействию, буферной памяти, внутренней маршрутизации и т.д.

Коммутационное устройство с коллективной памятью имеет память, общую для входных и выходных ячеек. В таком коммутаторе управление централизованно. Для реализации различных вариантов входных очередей общая память может динамически разбиваться на сегменты.

Коммутатор с общей шиной (рис. 3.62) имеет высокоскоростную внутреннюю шину, причем ее пропускная способность равна общей пропускной способности входных/выходных линий. Механизм управления потоком по идентификаторам определяет принадлежность каждой ячейки и демультиплексирует общий поток через адресные шины (фильтры). Управление коммутатором централизованное.

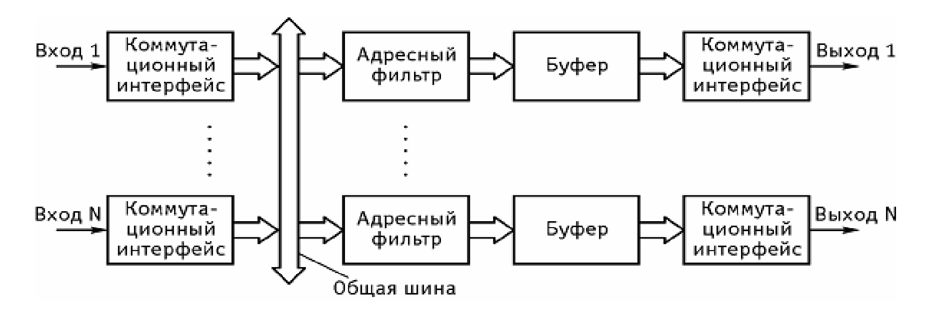


Рис. 3.62. Коммутатор с общей шиной

Коммутатор с пространственным разделением сразу устанавливает несколько соединений от входных портов к выходным. Управление такими коммутаторами осуществляется по портам. В пространственных коммутаторах возможны внутренние блокировки. Для преодоления блокировок предложены несколько вариантов построения одно- и многокаскадных схем.

Однокаскадные коммутационные матрицы (рис. 3.63) имеют в узлах переключатели, которые могут находиться в двух состояниях: сквозном (транзит) и перекрестном (кросс). У коммутатора может быть буферная память, располагаемая в узлах матрицы или на входах. Схема буферной памяти в узлах (элементах коммутации) позволяет избежать столкновения ячеек, направляемых на один выходной порт. Буферы могут обслуживаться по очереди. Размещение буферов на входе коммутатора позволяет разделить функции буферизации и коммутации.

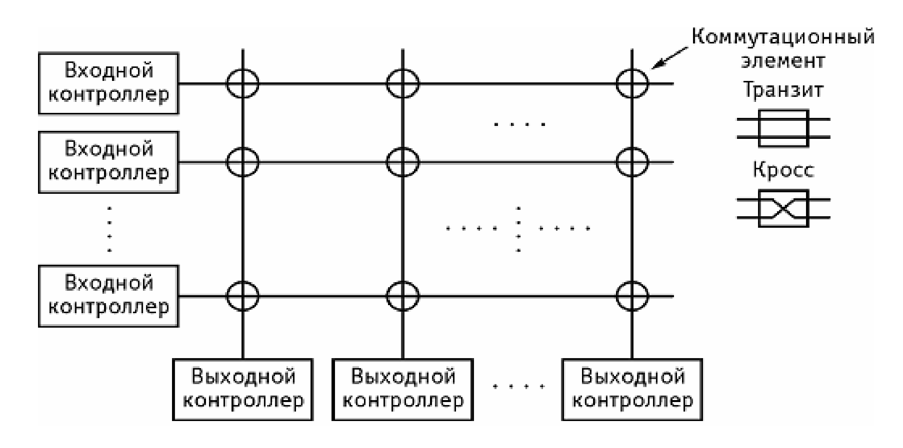


Рис. 3.63. Однокаскадная коммутационная матрица

Однокаскадные коммутационные матрицы не могут полностью устранить проблемы конфликтов при одновременном поступлении ячеек к одному выходу. Такие матрицы не пригодны для обработки интенсивного трафика. В связи с этим широкое применение находят многокаскадные коммутационные матрицы, в которых существует один или несколько путей, называемых маршрутами, между заданной парой вход/выход.

Примером матрицы с одним маршрутом может служить баньяновидная матрица (рис. 3.64). Баньян — тропическое дерево, у которого от каждой почки растет корень и ветвь. На основе баньяновидной матрицы может быть построена схема коммутаторов с одним маршрутом между парой вход/выход.

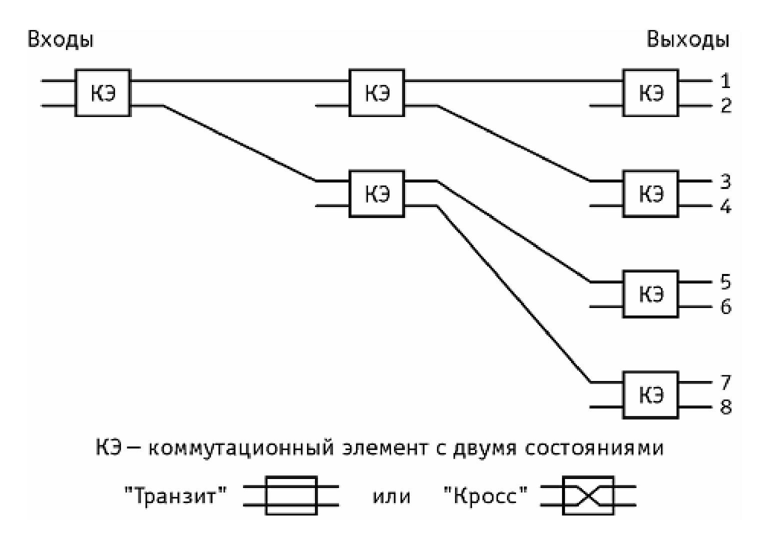


Рис. 3.64. Баньяновидная матрица-коммутатор

Процесс прохождения ячеек в трёхкаскадном коммутаторе (рис. 3.64, 3.65) состоит в следующем. К заголовку каждой ячейки «пристраивается» специальное маршрутное поле, представляющее собой последовательность двоичных символов, число которых совпадает с числом каскадов. В каждом каскаде декодируется разряд маршрута. Если он равен 1, то коммутационный элемент (КЭ) реализует операцию «Кросс». Если он равен 0, то КЭ реализует операцию «Транзит».

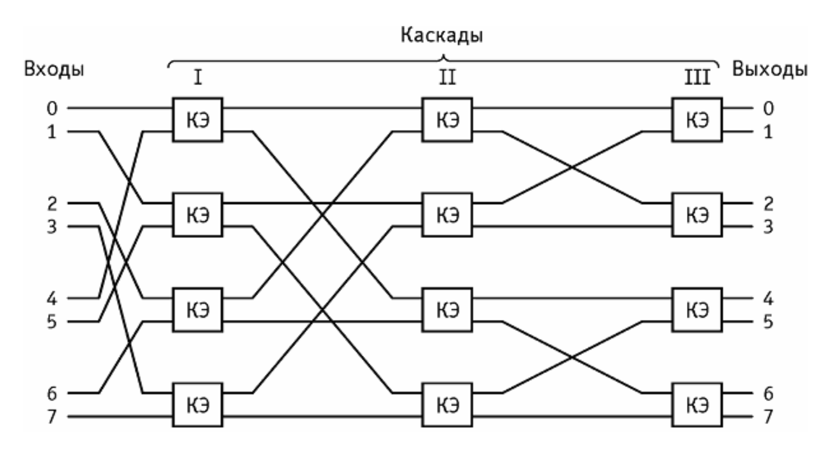


Рис. 3.65. Трехкаскадный пространственный коммутатор

Число каскадов и число входов/выходов связаны соотношением:

$n = \lg_2 N$, где для $n = 3$, $N = 8$.

Одномаршрутный коммутатор баньяна может создать состояние, когда ячейка ATM не может быть принята коммутационным элементом следующего каскада из-за одновременного поступления запроса от другого каскада. Это называется внутренней блокировкой. Частично решить проблему конфликтов можно созданием буфера при каждом коммутационном элементе. Известны четыре способа построения буферов: КЭ с входными очередями; КЭ с выходными очередями; КЭ с центральными очередями и смешанные (рис. 3.66–3.68). Принцип обслуживания очередей — FIFO. Возможные размеры требуемых буферов очереди при вероятности потери ячейки 10^{-9} оцениваются соответствующими методиками.

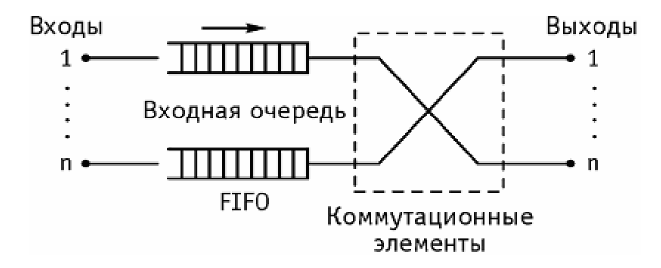


Рис. 3.66. КЭ с входной очередью

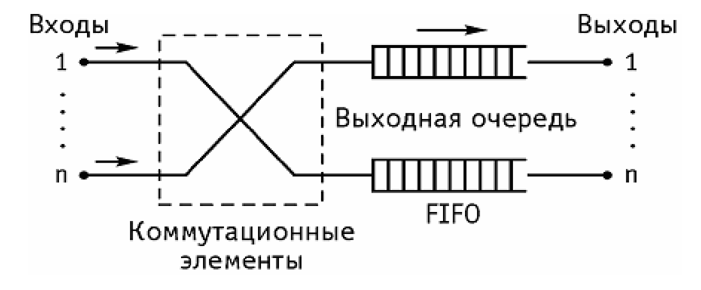


Рис. 3.67. КЭ с выходной очередью

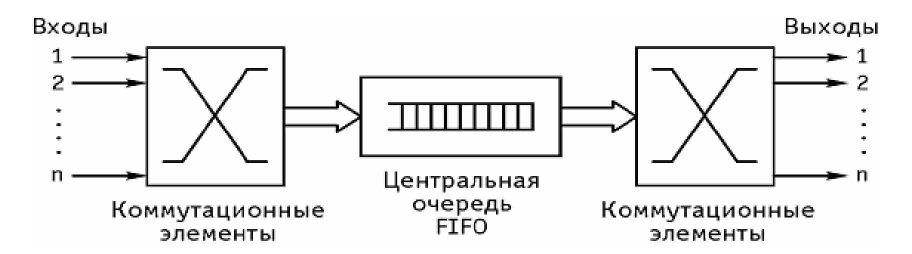


Рис. 3.68. КЭ с центральной очередью

Полностью устранить конфликты ячеек при маршрутизации даже с буферами невозможно из-за случайности трафика и возникающих переполнений буферов. Кроме того, буферы создают значительные задержки, которые далеко не всегда допустимы, например, для телефонного трафика или видеосвязи. Снизить количество конфликтов и потерь ячеек можно при использовании коммутационных матриц со многими маршрутами. Примером коммутатора со многими маршрутами может служить схема Бенеша (рис. 3.69), в которой имеются две ступени каскадов — выбора маршрута и основные. Каскады выбора маршрута обеспечивают организацию маршрутов. При этом число каскадов в ступени выбора маршрута определяется необходимым числом возможных маршрутов. Например, при одном каскаде — 2 маршрута, при 2-х каскадах — 4 маршрута, при 3-х каскадах — 8 маршрутов и так далее.

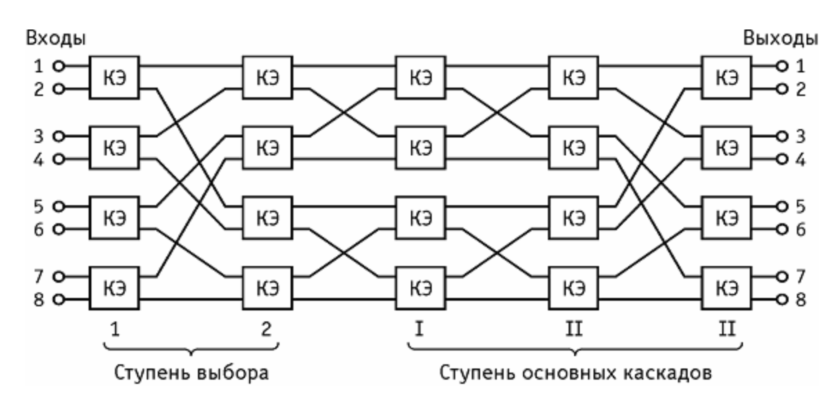


Рис. 3.69. Схема коммутатора Бенеша

На примере прохождения ячеек через пространственный коммутатор (рис. 3.70) можно увидеть примеры возможных блокировок. При этом внутренние метки маршрутизации из 3-х бит на выходе устраняются.

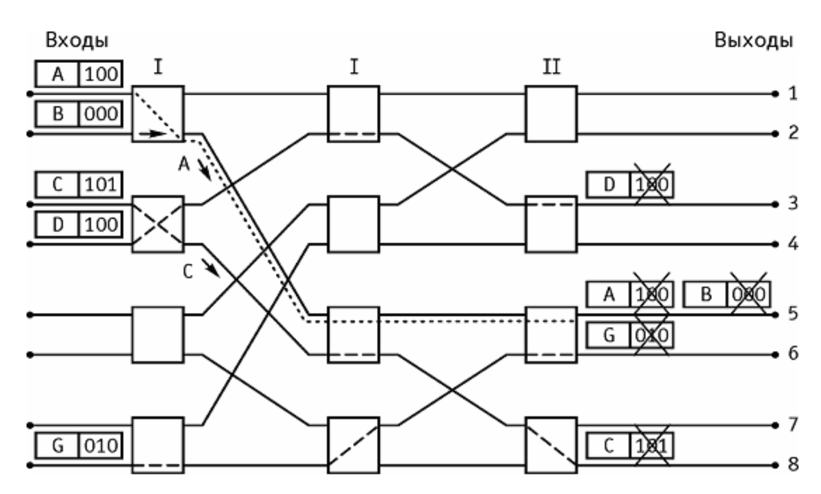


Рис. 3.70. Пример адресного прохождения ячеек через пространственный коммутатор

Конфликты ячеек в коммутаторах приводят к перегрузкам в транспортной сети. Перегрузки в широкополосных сетях определяют статус сетевых элементов (коммутаторов, концентраторов, линий передачи) в их возможностях по перегрузочному трафику или контролю ресурсов перегрузки. Сеть может гарантировать заранее оговоренное качество сервиса уже существующих соединений и запросов на новые соединения.

Перегрузки могут служить причиной непредсказуемых статистических флуктуаций трафика или ошибок перегрузки в сети. Например, пользователь или пользователи могут затребовать бóльшие ресурсы, чем необходимы на время соединения заранее оговоренной системе.

Известны несколько методов **контроля конфликтов и защиты от перегрузок** в сети ATM:

– большие буферы;
– кредитная схема;
– скоростные схемы с обратной связью.

Большие буферы способны выдерживать высокие перегрузки и переложить задачи восстановления потерянных блоков данных на выше лежащие протоколы. Однако этот метод малоэффективен для повышения производительности сети.

Кредитная схема предусматривает управление потоком ячеек на каждом участке каждого виртуального соединения (рис. 3.71). На принимающих портах коммутаторов ATM под конкретные виртуальные соединения резервируются определенные объемы буферной памяти.

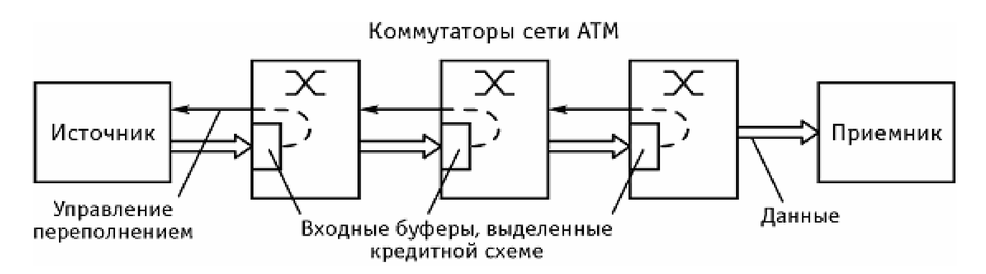


Рис. 3.71. Кредитная схема управления потоком ячеек

В кредитной схеме передатчик трафика получает кредит на передачу определенного числа ячеек, которую можно осуществить без ожидания управляющей информации. Это число ячеек определяется объемом выделенных буферов. При возникновении перегрузки и переполнения буферной памяти одного из коммутаторов он посылает управляющее сообщение с требованием прекратить передачу данных по перегруженному соединению. Тот прекращает передачу и начинает накапливать данные в своем буфере. В кредитной схеме каждое виртуальное соединение должно снабжаться буфером. Достоинства кредитной схемы следующие:

– предотвращение потери ячеек;
– максимально эффективное использование полосы пропускания канала;
– возможность работы различных виртуальных соединений в одном физическом канале на разных скоростях.

Недостатки кредитной схемы:

– необходимость серьезной доработки оборудования ATM с целью поддержки индивидуальных буферов;
– сложные алгоритмы динамического расчета буферного пространства при установлении коммутируемого виртуального соединения SVC;
– не является стандартом ATM-Форума.

Скоростные схемы с обратной связью подразделяются на следующие виды:

– FECN**,** Forward Explicit Congestion Notification — схема с отрицательной обратной связью вперед;
– BECN**,** Backward Explicit Congestion Notification — схема с отрицательной обратной связью назад;
– PRCA**,** Proportional Rate Control Algorithm — алгоритм положительной обратной связи с пропорциональным управлением;
– EPRCA**,** Enhanced PRCA — улучшенный PRCA.

Схема FECN (рис. 3.72) предусматривает использование обратной связи для информирования источника о том, с какой скоростью в данный момент он может передавать ячейки по каждому виртуальному соединению. Когда коммутатор ATM испытывает перегрузки, он выставляет в проходящих через него ячейках бит FECN (в поле PT заголовка ячейки), информируя приемник о перегрузке по конкретным соединениям. Приемник направляет сообщение о перегрузках источнику трафика, который, в свою очередь, принимает решение о снижении трафика.

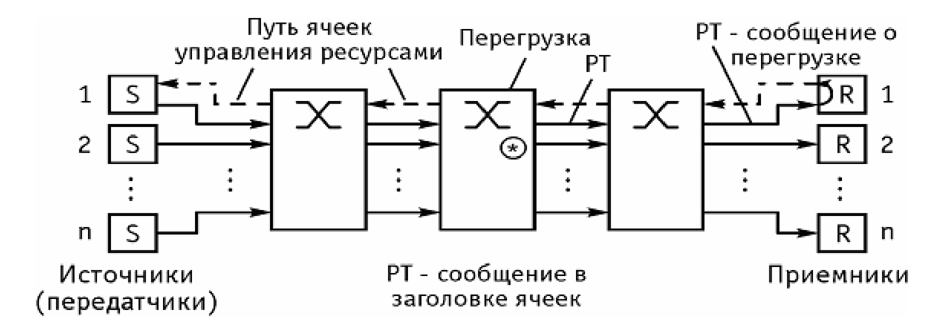


Рис. 3.72. Принцип работы схемы FECN

По аналогичному принципу работает схема BECN. Однако в этой схеме информацию о перегрузке направляет источнику коммутатор, испытывающий перегрузку (рис. 3.73).

Преимущество схемы BECN состоит в быстрой реакции на перегрузки. Недостаток этой схемы — необходимость «обучения» коммутатора посылать ячейки управления в проходящий поток данных. Кроме того, обе рассмотренные схемы FECN и BECN страдают от попадания ячеек управления в перегруженные потоки, что затрудняет эффективное регулирование трафика. Могут возникнуть аварийные ситуации, когда ячейки управления не достигнут источника.

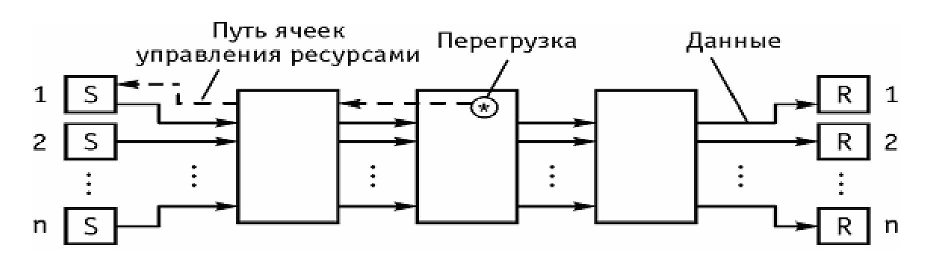


Рис. 3.73. Принцип работы схемы BECN

В схемах FECN и BECN коммутатор ATM считается перегруженным, если очередь ячеек на обслуживание (коммутацию, маршрутизацию, мультиплексирование, концентрацию) превышает определенное значение (порог). Получив информацию о перегрузке, передатчик должен снижать трафик. Снижение происходит до тех пор, пока не прекратится поступление информации о перегрузках в пределах определенного временного интервала. По окончании этого интервала передатчик начинает увеличение трафика. Недостатки рассмотренных схем в определенной мере компенсированы другими схемами управления перегрузками: PRCA и EPRCA.

Алгоритм пропорционального управления PRCA, разработанный ATM-Форумом, основан на положительной обратной связи. В этой схеме источник трафика увеличивает скорость только по получению разрешения приемника. В противном случае передатчик обязан последовательно снижать скорость передачи ячеек. Алгоритм_PRCA работает следующим образом. В первой и в *N*-й ячейках передаваемых источником, бит в поле PT установлен в 0, а в остальных — в 1. Интервал *N* задается административно и определяет время реакции на перегрузку. Если приемник не перегружен, то в ответ на каждую ячейку с EFCI = 0 он посылает в передатчик ячейку управления ресурсом RM, разрешающую увеличение скорости. Коммутатор, испытывающий перегрузку, имеет право изменить бит EFCI = 1, запрещая тем самым приемнику генерировать ячейки управления ресурсами RM, или же просто удаляет ячейки RM, передаваемые по каналу к источнику трафика (рис. 3.74). В обоих случаях источник будет вынужден снижать скорость передачи до тех пор, пока не получит хотя бы одну ячейку RM с нулем.

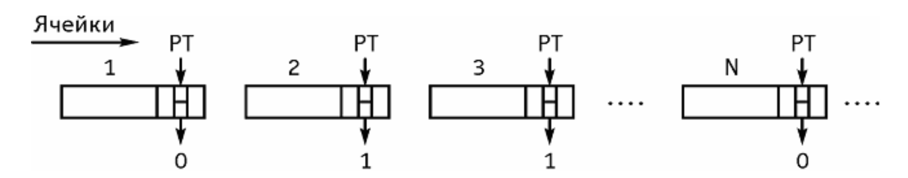


Рис. 3.74. Поток ячеек по схеме PRCA

Недостаток схемы PRCA состоит в том, что при прохождении потока через несколько перегруженных участков число ячеек в нем с битами EFCI = 1 будет значительно больше числа таких ячеек в других, не использующих этот алгоритм, потоках. Поэтому доступная данному потоку скорость тоже будет существенно ниже.

Алгоритм схемы EPRCA избавлен от проблем схемы PRCA. В этой схеме источник посылает все информационные ячейки с байтом EFCI = 0. Через *N* таких ячеек посылается ячейка управления ресурсом RM, содержащая значение желаемой максимальной PCR (Peak Cell Rate)и текущей скорости передачи ACR (Allowed Cell Rate). Испытывающий перегрузку коммутатор подсчитывает свое значение скорости ACR, которое зависит от объема трафика, и записывает в проходящую ячейку RM. Получив эту ячейку, приемник отправляет ее обратно передатчику, а тот корректирует свою скорость (рис. 3.75). Таким образом, проходя по кругу, ячейки RM «сообщают» информацию о наличии ресурсов по всем участкам сети и возвращаются обратно к источнику со значением наименьшей из доступных скоростей для каждого виртуального соединения.

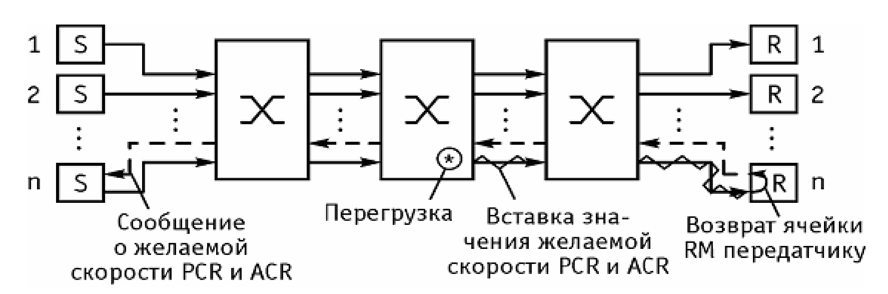


Рис. 3.75. Принцип работы схемы EPRCA

Изложенное позволяет сделать вывод, что использование схем управления перегрузками позволяет избавиться от проблем конфликтов в сети ATM и защитить трафик от сбрасывания. При выборе сетевых решений и коммутационного оборудования необходимо обязательно уделять внимание технологиям защиты трафика.

Управление трафиком в сети ATM прежде всего предполагает борьбу с перегрузками коммутаторов потоками ячеек. Поэтому управление трафиком является одной из основных задач, а может быть главной составляющей, технологии ATM. При этом следует отметить, что большинство механизмов управления трафиком не имеют стандартной основы и являются интеллектуальной собственностью фирм-производителей продукции ATM. Принято считать, что управление трафиком это ключевой элемент, различающий различные коммутаторы ATM.

В качестве механизмов управления перегрузками в сети ATM применяются:

– сброс на пакетном уровне (ранний сброс или сброс остатков);

– управляемые большие буферы.

Сброс данных на пакетном уровне может происходить на основе двух механизмов:

– ранний сброс пакетов EPD (Early Packet Discard);

– сброс остатков пакета TPD (Tail Packet Discard).

Эти механизмы способны увеличить реальную пропускную способность сети в 10 раз. Их применение совместно с методами, рассмотренными выше, позволяют создавать сети с минимальными потерями. Однако, эти механизмы могут применяться и отдельно для управления трафиком. Последнее обстоятельство весьма важно, поскольку перегрузки могут наступать очень быстро. Что дает, например, ранний сброс пакета? Пакет размещается в *n* ячеек. Сброс даже одной ячейки этого пакета в его начале, на-

пример, в поле из 100 ячеек, вызовет нарушение целостности информации и в этом случае нет смысла передавать остальные 99 ячеек этого пакета. Он может быть восстановлен протоколами выше лежащих уровней, например, IP.

Управляемые буферы позволяют организовать индивидуальные очереди для каждого соединения. Объем буфера и алгоритм обработки поступающих в него данных непосредственно связаны с типом трафика (CBR, VBR, ABR, UBR) и его характеристиками времени разброса ячеек. Емкость буферной памяти должна динамически распределяться в соответствии с требуемым качеством обслуживания. Для организации индивидуальных очередей для каждого виртуального соединения общую буферную память необходимо делить на несколько частей, каждая из которых должна быть предназначена для трафика с определенным качеством обслуживания. При этом объем частей буфера и алгоритм работы с ними напрямую связан с типом трафика. Каждый такой буфер обслуживает свои очереди, причем их количество может быть достаточно велико. Емкость буфера определяет стоимость оборудования, и ее величина определяет уровень защиты от перегрузок.

Известны следующие алгоритмы организации очередей в буферах:

- по принципу FIFO, когда все соединения, относящиеся к одной категории сервиса, помещаются в одну очередь и одинаково страдают от перегрузок;
- замена буфера типа FIFO на буфер с произвольной выборкой ячеек, для которых существует свободный выход коммутатора;
- разделение очереди для каждого виртуального соединения, при котором перегрузки в одном не влияют на другие.

3.2.4. Размещение и передача ячеек ATM на физическом уровне

Физический уровень состоит из подуровней физической среды и конвергенции с системой передачи (см. рис. 2.1).

Физические среды ATM специфицированы рядом международных организаций по стандартизации: Форум ATM, МСЭ-Т, Американским (ANSI) и Европейским (ETSI) институтами стандартизации, что предполагает возможности использования технологий передачи PDH, SDH, модемов физических линий с прямым размещением ячеек.

Через физическую среду в сети ATM транслируется тактовый синхронизм. Качество синхронизма определяется тактовым генератором и средствами передачи. В частности линейным кодированием: CMI — кодом с инверсией групп символов; HDB-3 — троичным двухполярным кодом с чередованием полярности и вставками; NRZ-скремблированным — первым стандартом на линейное кодирование для транспортных сетей в глобальном масштабе.

С помощью прямого размещения ячейки передаются непосредственно по подходящей физической среде, например, по медному или оптическому кабелю. Для выравнивания скорости битов и тем самым сохранения синхронизации применяются пустые ячейки, не несущие информации (рис. 3.76). Перед передачей производится скремблирование. Метод прямого размещения в среде передачи рекомендован к использованию на участке «пользователь-сеть» (интерфейс UNI).

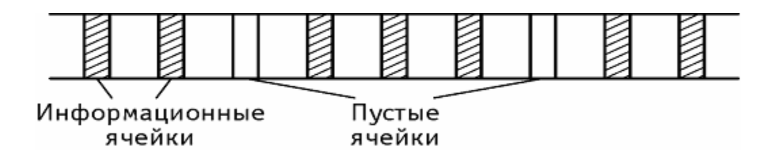


Рис. 3.76. Ячейки ATM в среде передачи

Для отображения ячеек ATM в структуре STM-N они вставляются непосредственно в контейнер C-12 или C-4. При этом каждый байт ячейки ATM занимает один байт в контейнере. Поскольку число байтов для передачи информации, например, в C-4 не кратно числу байтов в одной ячейке, последние могут перемещаться в пределах контейнера (рис. 3.77) При использовании STM-1 для ячеек отведен виртуальный контейнер VC-4. Выделяемая при этом скорость передачи составляет 149,76 Мбит/с.

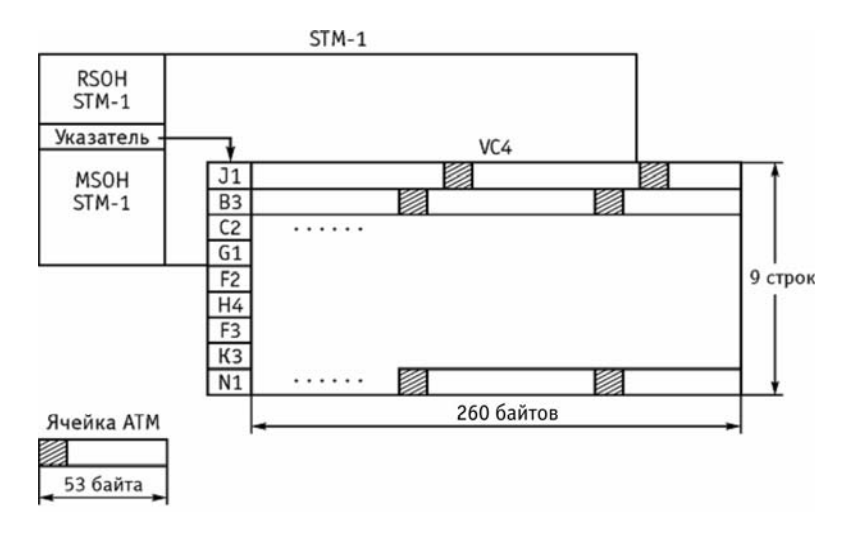


Рис. 3.77. Размещение ячеек ATM в STM-1

Для STM-4 пропускная способность составляет 599,04 Мбит/с. В заголовке виртуального контейнера VC-4 в байте C-2 делается отметка о загрузке ячеек ATM.

Двоичная комбинация C-2 будет соответствовать: 00010011.

Ячейки мультиплексируются в циклы VC-4 (длительность цикла 125 мкс) одна за одной без свободных промежутков. В случае отсутствия информационных ячеек емкость VC-4 заполняется пустыми ячейками. При этом разграничение ячеек происходит по байтам HEC и пустыми ячейками. В некоторых случаях возможно разграничение ячеек регулярными кадровыми структурами, как показано ниже, кадрами PLCP.

Ячейки ATM могут вставляться в циклы PDH со скоростями 2,048; 34,368; 139,264 Мбит/с. Это стало возможным после принятия дополнений к рекомендациям МСЭ-Т G.804, G.832 и ETSI ETS 300 337. В МСЭ-Т разработаны другие циклы PDH (G.832) для скоростей 34,368 и 139,264 Мбит/с длительностью 125 мкс, со структурами и заголовками, аналогичными циклам SDH.

Ячейки ATM вставляются синхронно байт за байтом в канальные интервалы 1…15 и 17…31 цикла передачи 2,048 Мбит/с, т.е. каждый байт ячейки передается точно одним временным каналом из 8 бит. Для каждой ячейки требуется примерно два цикла 2,048 Мбит/с (рис. 3.78). Байты синхронизации и сигнализации (0-й и 16-й канальные интервалы) сохраняют свои функции при загрузке E1 байтами ячеек ATM.

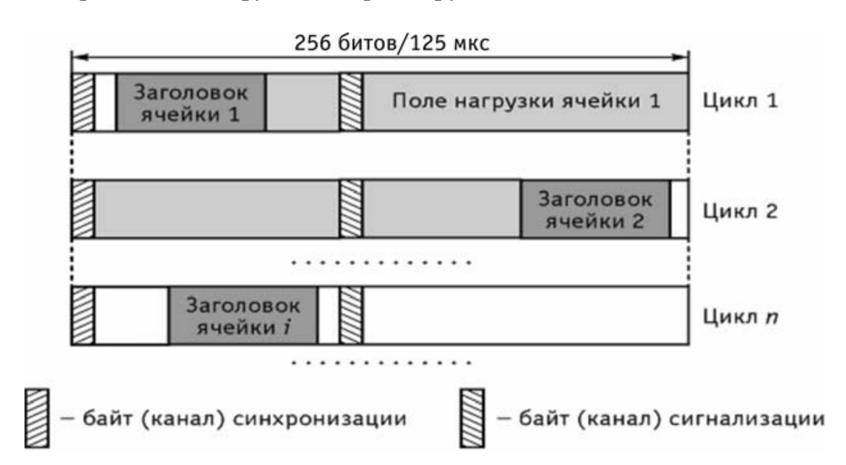


Рис. 3.78. Отображение ячеек ATM в сигнале E1

Ячейки ATM вставляются с синхронизацией по байтам в поля информации кадра E3 в соответствии с рекомендацией G.832 МСЭ-Т (рис. 3.79). В кадре предусмотрены дополнительные байты для управления и обслуживания (7 байтов), из которых байты FA1 и FA2 (Frame Alignment) служат для цикловой синхронизации, байт EM (Error Monitoring, BIP-8) — для контроля ошибок по алгоритму BIP, байт TR (Trail Trace) — для метки тракта, байт MA (Maintenance and Adaptation, обслуживание адаптации) — для обслуживания и извещения об ошибках на удалённой стороне, байт NR (Network Operator) — для оператора сети, байт GC (General purpose communications Channel) — для общей связи.

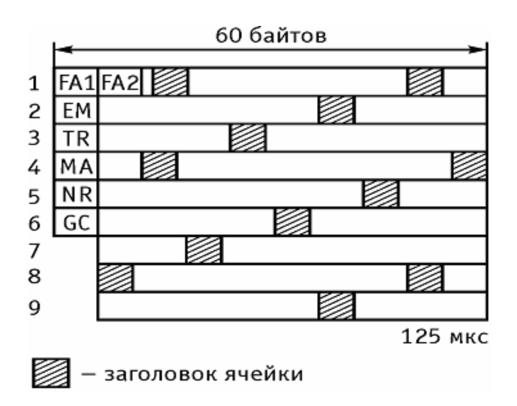


Рис. 3.79. Отображение ячеек ATM в сигнале E3 по Рекомендации G.832

Ячейки ATM в сигнале 34,368 Мбит/с (E3), вводимые через кадры физического уровня PLCP (Physical Layer Convergence Procedure), группируются по девять (рис. 3.80, 3.81). При этом методе размещения ячеек в цикле передачи PDH несколько видоизменяется, но структура кадра сохраняется. Видоизменение основано на процедуре преобразования физического уровня PLCP.

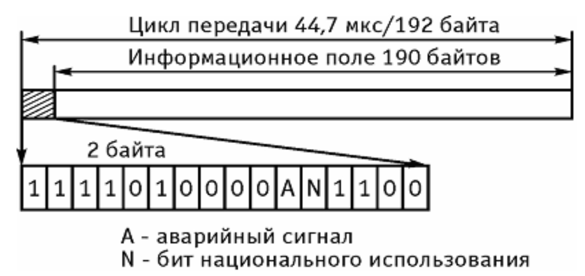


Рис. 3.80. Структура цикла передачи в E3 по Рекомендации G.702

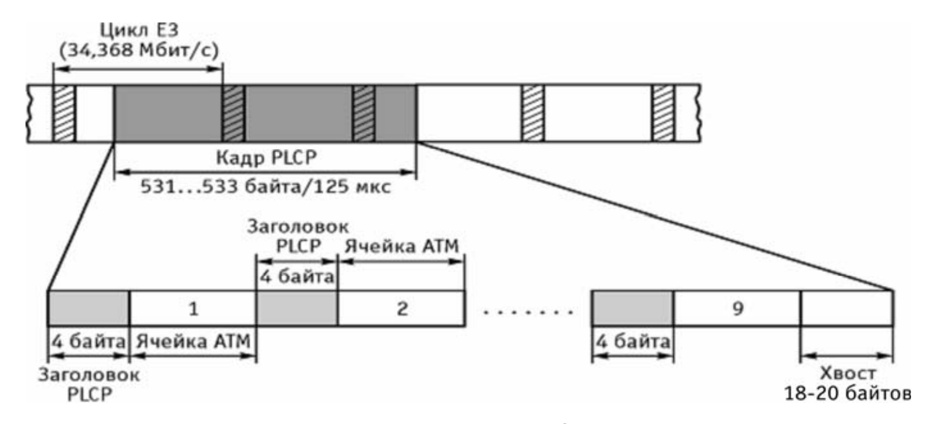


Рис. 3.81. Кадр PLCP

В структуре цикла передачи E3 по Рекомендации G.702 биты 13…16 каждого цикла заполняются фиксированной последовательностью битов 1100. Для каждого цикла передачи PLCP имеется 190 байтов. Поэтому кадр PLCP может быть вставлен с побайтовой синхронизацией. Заголовок кадра PLCP содержит 4 байта. Первые два байта каждого заголовка PLCP перед ячейками ATM являются цикловым синхросигналом для каждой из девяти ячеек ATM. Третий байт представляет собой индикатор трактового заголовка. Четвертый байт: резервируется для ячеек 1…3, образует канал пользователя для четвертой ячейки; контролирует трассировку кадра PLCP перед пятой ячейкой; определяет статус трассировки перед шестой ячейкой; содержит информацию управления для сети персональных компьютеров перед ячейками 7 и 8; содержит байт проверки заполнения перед ячейкой 9. Хвост кадра PLCP, состоящий из 18…20 байтов, создает возможность цифрового выравнивания.

Кроме рассмотренных структур загрузки ячейки ATM могут непосредственно загружаться в нагрузочные блоки OPUk сети OTN-OTH и в отдельные волновые каналы WDM.

3.3. Технология оптической транспортной сети OTN-OTH

3.3.1. Термины, определения и обозначения OTN-OTH

Оптическая транспортная сеть OTN (Optical Transport Network) на основе технологии мультиплексирования оптической транспортной иерархии OTH предназначена для построения транспортных магистралей с пропускной способностью до десятков Тбит/с. Это достигается сочетанием гибкого цифрового мультиплексирования стандартных циклических блоков, с одной стороны, и гибким построением оптических каналов и их мультиплексированием в управляемые оптические модули, с другой стороны.

Для реализации возможностей OTN-OTH Рекомендациями G.709 и G.798 МСЭ-Т предусмотрена иерархическая структура интерфейса (рис. 3.82), которая повторяет, по существу, модель транспортной сети OTN-OTH (см. рис. 2.1).

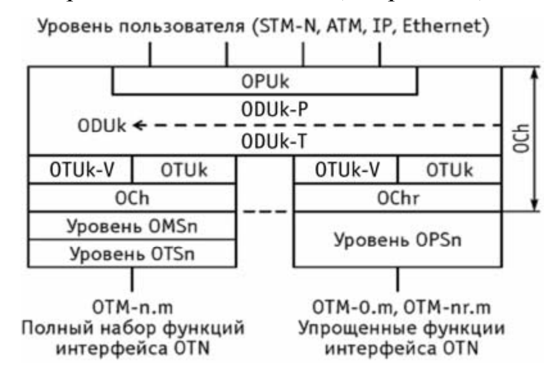


Рис. 3.82. Структура интерфейса OTN-OTH

Однако в структуре интерфейса подчеркнуты технологические решения для всех составляющих уровней сети OTN, в частности представлены полный и упрощенный набор функций интерфейса при формировании оптического транспортного модуля OTM.

Для реализации функций интерфейса используется электронное и оптическое оборудование (рис. 3.83), объединяемое в транспондерные TPD и оптические блоки OMX с оптической ретрансляцией R. Через транспондерные блоки реализуются функции уровня оптического канала OCh (Optical Channel).

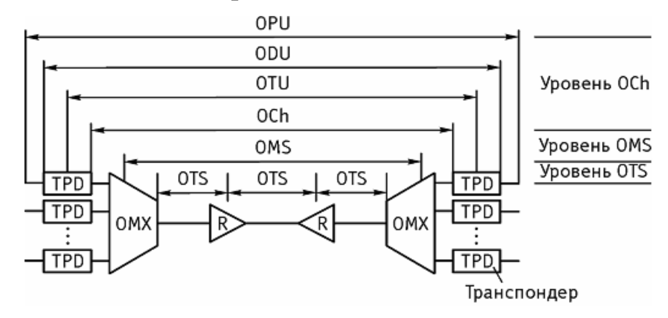


Рис. 3.83. Структура соединения в сети OTN-OTH:
TDP — транспондер

Уровень OCh обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU. Также уровень OCh обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R).

Рассмотрим компоненты структуры, представленной на рис. 3.82.

OPUk (Optical Channel Payload Unit-k) — блок оптического канала нагрузки порядка k, где $k = 1, 2, 3$. Эта циклическая информационная структура используется для адаптации информации пользователя к транспортировке в оптическом канале. Блок OPUk состоит из поля информационной нагрузки и заголовка.

ODUk (Optical Data Unit-k) — блок данных оптического канала порядка k, где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура состоит из поля информации OPUk и заголовка.

ODUk-P (ODUk Path) — блок данных оптического канала порядка k, поддерживающий тракт из конца в конец сети OTN.

ODUk-T, ODUk-TCM, ODUk Tandem Connection Monitoring — блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандемных) соединений в сети OTN. Один блок ODUk-T допускает поддержку мониторинга до шести тандемных соединений.

OTUk (Optical Transport Unit-k) — оптический транспортный блок порядка k, где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура используется для транспортировки ODUk через одно или больше соединений (кроссовые соединения в узлах) оптических каналов. Блок OTUk определен в двух версиях — OTUkV и OTUk. Он рекомендован к применению на локальных участках OTN в полной и упрощенной формах исполнения.

OTUkV характеризуется как частично стандартизированная структура, рекомендуемая для применения в составе оптического транспортного модуля OTM в полной форме исполнения. OTUkV состоит из блока данных оптического канала, заголовка для управления соединением оптического канала и поля исправления ошибок FEC (рис. 3.84). Блок OTUk направляется на оптический модулятор, где формируются импульсные оптические посылки на определённой волне излучения. Волны излучения каждого OCh объединяются в оборудовании оптической секции мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section).

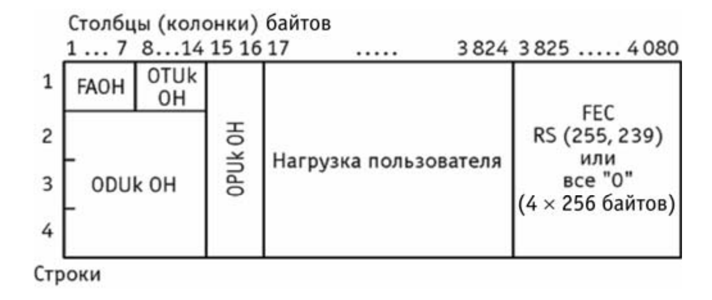


Рис. 3.84. Структура блока OTUk

На уровне оптической секции мультиплексирования OMS-n производится мультиплексирование/демультиплексирование n оптических каналов. Число $1 \le n \le 16$ ука-

зывает на оптические частоты, рекомендованные для передачи сигналов через волоконно-оптические линии в диапазоне 1260–1675 нм. В этом диапазоне возможно группирование оптических частот блоками из n в модули OTM-n для их последующей трансляции в оптических секциях OTS (Optical Transmission Section).

На уровне оптической секции передачи OTS-n формируются и расформировываются оптические транспортные модули OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-0.m (Optical Transport Module). Индексы OTM определены для обозначения различных вариантов построения интерфейсов.

Индекс «n» используется для обозначения максимального числа волн передачи. Если $n = 0$, то это признак одной волны передачи.

Индекс «r» используется для обозначения упрощенных функций, в частности OTM не содержит отдельный волновой сервисный канал передачи заголовков.

Индекс «m» используется для обозначения иерархической ступени OTH с соответствующей скоростью передачи в варианте комбинирования скоростей. Он является расширенным, по сравнению с индексом «k», обозначением (m = 1, 2, 3, 12, 123, 23).

Индекс «k» используется для обозначения поддерживаемой иерархической скорости OTH (табл. 3.11). Так $k = 1$ соответствует скорости 2,7 Гбит/с, $k = 2$ соответствует скорости 10.7 Гбит/с, $k = 3$ соответствует скорости 41.2 Гбит/с.

Таблица 3.11. Иерархические скорости и циклы OTUk

OTUk	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность цикла, мкс
OTU1	255/238 × 2 488 320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	48,971
OTU2	255/237 × 9 953 280		12,191 мкс
OTU3	255/236 × 39 813 120		3,035 мкс

Уровень оптической физической секции порядка n OPSn (Optical Physical Section-n) предусмотрен для передачи многоволнового оптического сигнала через оптические среды разных типов (одномодовые волокона с характеристиками G.652, G.653, G.655, G.656). Порядок волновой передачи определен индексом «n», который может лежать в пределах $0 \le n \le 16$. В этом интерфейсе отсутствует волновой сервисный канал.

Схема мультиплексирования и упаковки оптической транспортной иерархии OTH отражает последовательность преобразований информационных данных и оптических сигналов в интерфейсе OTN (рис. 3.85). Процедуры преобразований показаны стрелками. Блоки схемы, изображенные в виде прямоугольников, предназначены под упаковку цифровых данных. Блоки схемы, изображенные в виде овалов, предназначены для операций мультиплексирования.

В результате операций упаковки создаются адаптированные блоки цифровых данных OTU, которые передаются в оптических каналах. В результате операций мультиплексирования создаются групповые блоки цифровых данных ODTUG и групповые блоки оптических каналов OCG.

При создании OTUk на этапах мультиплексирования применяется синхронное побайтовое объединение информационных данных ODUk в групповые блоки ODTUGk, где k = 1, 2, 3. Формирование структур OTUk, ODUk и OPUk также связано с присоединением заголовков OH (Overhead) и согласованием скоростей.

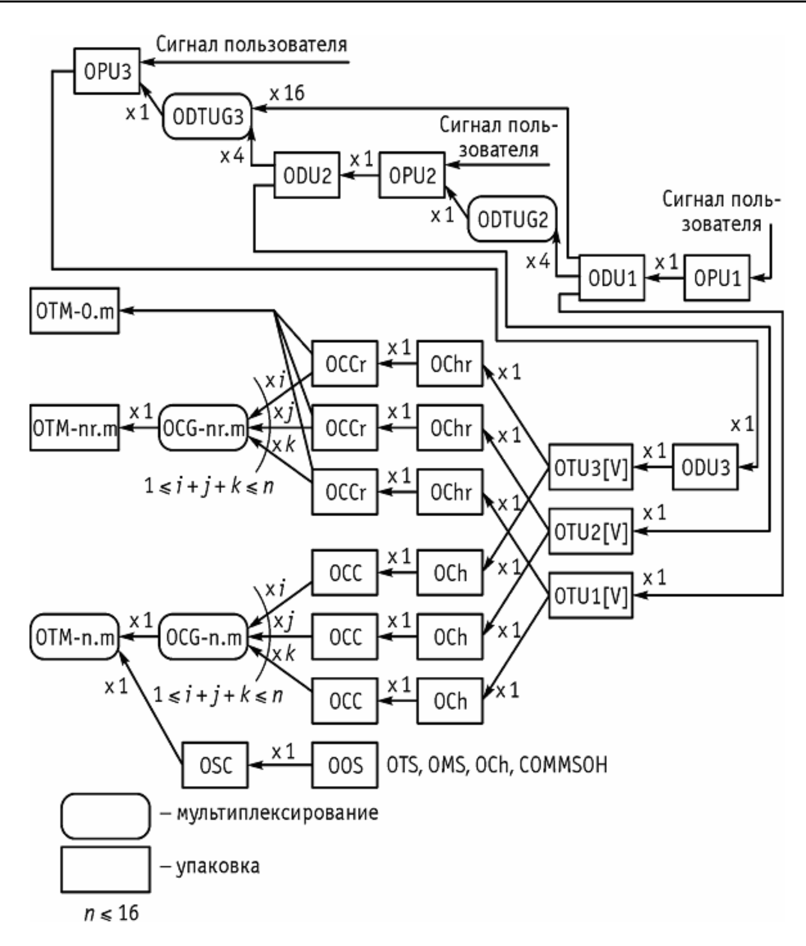


Рис. 3.85. Схема мультиплексирования и упаковки OTN-OTH

Цикл OTUk начинается синхрословом в заголовке FAOH емкостью 7 байтов в головной части. В завершении цикла применяется блок 4×256 байт, который может быть заполнен кодом Рида-Соломона (RS, Reed-Solomon) для упреждающей коррекции ошибок FEC или содержать нулевое балластное заполнение. Передача байтов блоков OTUk производится слева направо и сверху вниз байт за байтом (рис. 3.86).

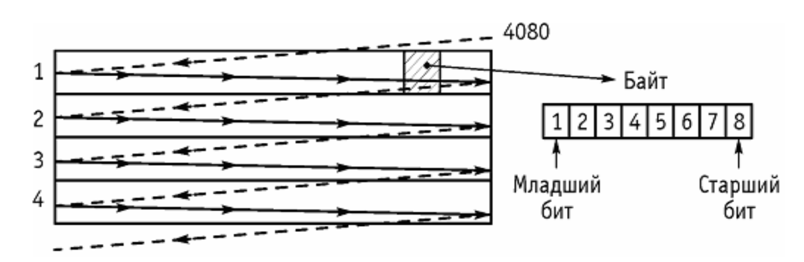


Рис. 3.86. Порядок передачи блока OTUk

Конечным результатом выполнения операций схемы мультиплексирования является оптический транспортный модуль OTM в одном из трех вариантов исполнения: OTM-0.m; OTM-nr.m и OTM-n.m. В этих вариантах могут сочетаться различные по скорости и цикличности оптические каналы с загружаемыми в них блоками OTUk. Например, OTM-n.1 переносит сигналы OTU1 в *n*-оптических каналах или OTM-n.23 переносит *j* сигналов OTU2 и *i* сигналов OTU3, причем сумма $i + j \leq n$.

Пример технологической последовательности операций формирования цифровых блоков OPU2, ODU2, OTU2 представлен на рис. 3.87. Порядок формирования каждого из блоков рассматривается в следующих разделах.

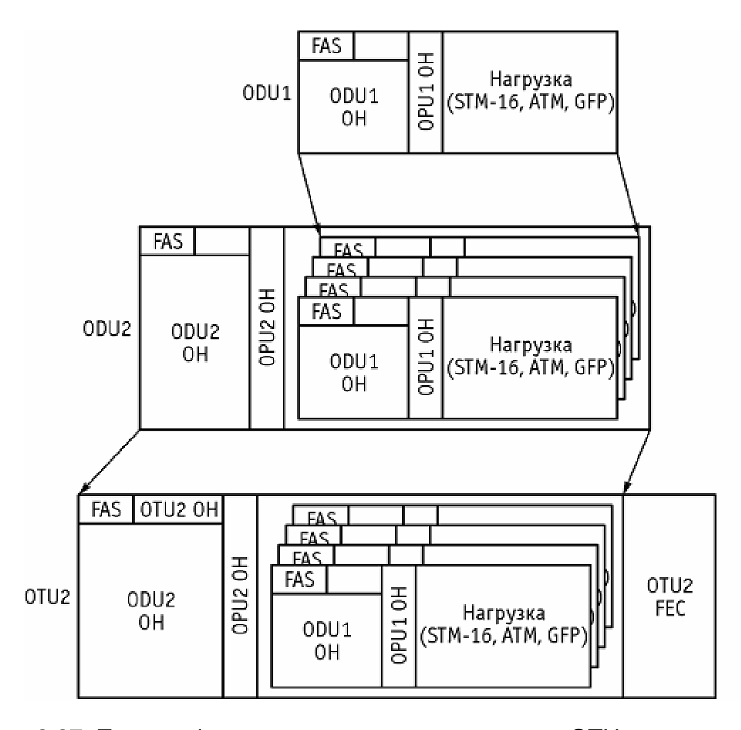


Рис. 3.87. Пример формирование структуры циклов OTH второго уровня

3.3.2. Формирование блоков нагрузки оптических каналов OPUk

Блоки нагрузки оптических каналов OPUk предназначены для упаковки цифровых информационных данных с синхронным по битам или асинхронным согласованием скоростей. Блок OPUk может иметь один из трех порядков ($k = 1, 2, 3$), который соответствует определенной скорости передачи OTH (табл. 3.12). Заголовок OPUk имеет одинаковую структуру на всех иерархических ступенях (рис. 3.88). Назначение и обозначение байтов заголовка OPUk на этом рисунке следующие:

– RES, Reserved — резервные байты и биты для будущей стандартизации;
– PSI, Payload Structure Identifier — идентификатор структуры нагрузки; содержится в 256 байтах следующих друг за другом, но только нулевой байт этой последо-

вательности несет сообщение о типе нагрузки PT (Payload Type), остальные байты резервные;

– JC, Justification Control — управление выравниванием (согласованием скорости передачи); используется при асинхронной упаковке/выгрузке информации пользователя для указания на отрицательное или положительное согласование скорости;
– NJO, PJO, Negative Justification Opportunity, Positive JO — отрицательное и положительное согласование скорости.

Таблица 3.12. Типы OPUk и скорости передачи

Тип OPUk	Скорость передачи, кбит/с	Отклонение скорости
OPU1	2488320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
OPU2	$238/237 \times 9953280$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
OPU3	$238/236 \times 39813120$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$

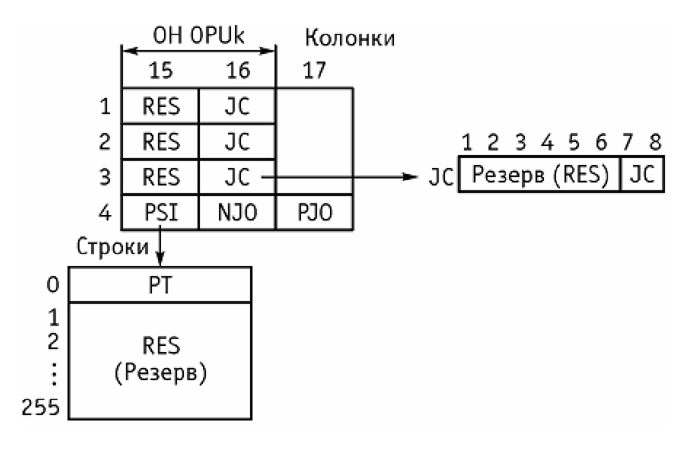


Рис. 3.88. Заголовок OPUk

Байты NJO и PJO не применяются при синхронной упаковке по байтам и выгрузке в OPUk. При этом байт PJO используется для размещения информационных данных. Состояние битов JC и байтов NJO и PJO при асинхронной упаковке и выгрузке приведено в табл. 3.13.

Таблица 3.13. Состояние битов JC и байтов NJO и PJO при упаковке и выгрузке

JC, биты 7 8	NJO	PJO
0 0	Байт согласования	Байт данных
0 1	Байт данных	Байт данных
1 0	Не используется	
1 1	Байт согласования	Байт согласования

В указании на тип нагрузки PT может быть отмечен один из известных видов цифровой информации. Например, упаковка ячеек АТМ будет сопровождаться байтом PT 00000100, а асинхронная упаковка информации байтом 00000010.

На рис. 3.89 приведен пример цикла OPU1, загруженного информационными данными STM-16, передаваемыми со скоростью 2,5 Гбит/с. Загрузка STM-16 происходит бит за битом без опознания байтов STM-16. При этом может быть активировано положительное или отрицательное согласование скоростей.

Строки \ Колонки байтов	15	16	17	18		3824
1	RES	JC	D	D	3805 D байтов	D
2	RES	JC	D	D	3805 D байтов	D
3	RES	JC	D	D	3805 D байтов	D
4	PSI	NJO	PJO	D	3805 D байтов	D

Рис. 3.89. Пример упаковки боков STM-16 в OPU1

На рис. 3.90 приведен другой пример загруженного цикла OPUk, где помещена информация в виде ячеек АТМ. Ячейки АТМ, имеющие емкость 53 байта, упаковываются синхронно по байтам. При этом ячейки, которые неполностью помещаются в OPUk, переносятся в следующий OPUk.

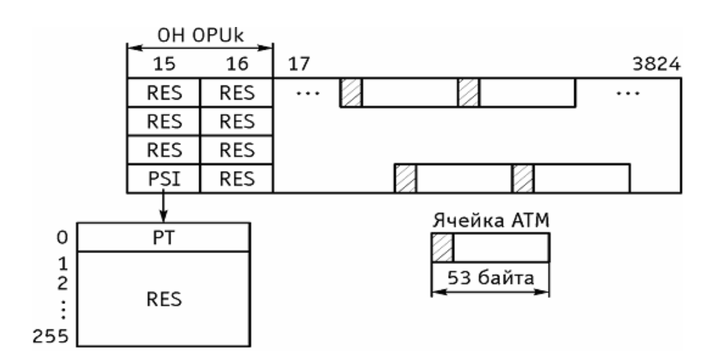


Рис. 3.90. Пример упаковки ячеек АТМ в OPUk

Полезная емкость OPUk для ячеек АТМ составляет 15232 байта, т.е. 267 ячеек АТМ и 21 байт будут свободны или заняты частью ячейки. В заголовке OH OPUk нет байтов для согласования скоростей. Аналогично предусмотрена упаковка кадров GFP емкостью от 8 до 65535 байтов в OPUk. Кадры GFP предназначены для переноса мультиплексированной информации сетей Ethernet, протокола HDLC и других через транспортные сети SDH и OTH.

Одной из важнейших функций OPUk по отношению к упаковываемому информационному сообщению является возможность виртуальной сцепки нестандартной по скорости передачи нагрузки в сети OTN.

Виртуальная сцепка (конкатенация) в OPUk выполняется в X параллельно упаковываемых OPUk единым блоком информации. Обозначение виртуальной сцепки

OPUk-Xv, где $k = 1, 2, 3$, $X = 1, 2, \ldots, 256$. Таким образом одновременно может быть предоставлена емкость X × 4 × 3810 байтов для переноса информации пользователя. Пример структуры OPUk-Xv приведен на рис. 3.91.

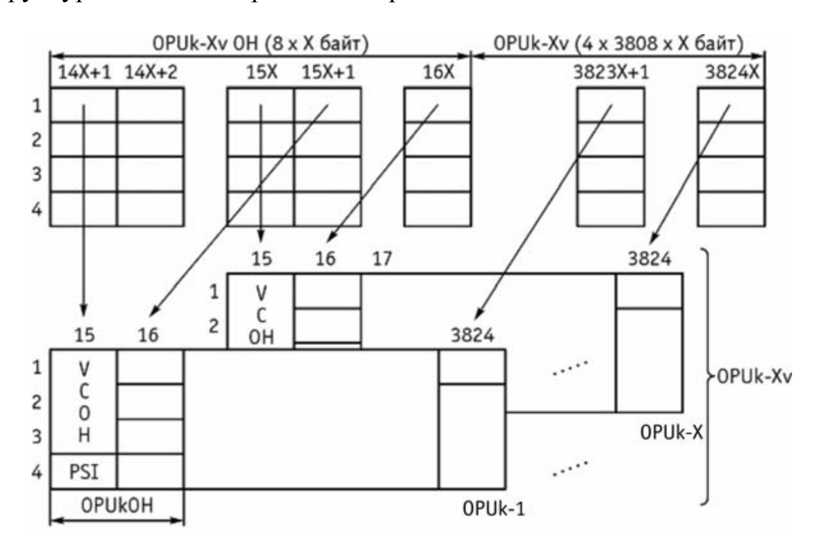


Рис. 3.91. Пример структуры блока OPUk-Xv

Каждая из составляющих OPUk-X транспортируется самостоятельно через сеть OTN. При этом на приемной стороне для согласованной выгрузки информации из OPUk-X используется заголовок OPUk-Xv OH. Общая структура заголовка OPUk-X OH приведена на рис. 3.92.

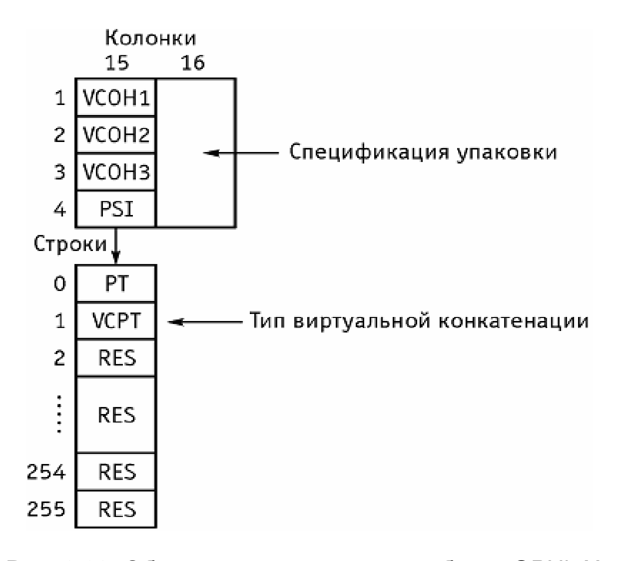


Рис. 3.92. Общая структура заголовка блока OPUk-Xv

Байт PSI в каждом OPUk из OPUk-Xv повторяется. Три байта VCON1, VCON2, VCON3 используются для транспортировки спецификации цикловой структуры виртуальной сцепки. Это 8 битов в 3-х байтах, повторяемые в цикле 32 раза (рис. 3.93). Структура содержит последовательный сверхцикл и заголовок управления согласованием с линией передачи.

	VCON1 (1–8)	VCON2 1	2	3	4	5	6	7	8	VCON3 (1–8 Биты)
0	MFI 1	0	1	2	3	4	5	6	7	CRC 8
1	MFI 2	8	9							CRC 8
2	RES									CRC 8
3	RES									CRC 8
4	SQ									CRC 8
5	CTRL, CID, RSA, RES									CRC 8
	RES	MST Номер 0-255 Указывает на статус 255								CRC 8
31										CRC 8

Рис. 3.93. Структура байт заголовка виртуальной сцепки

Байты OPUk-Xv VCON1/2/3 имеют следующее назначение:

– MFI, Multi Frame Indicator — индикатор сверхцикла; содержит измеренный интервал задержки между сигналами в группе виртуальной сцепки и обеспечивает процесс компенсации этой задержки на приеме; процесс компенсации проходит за 125 мкс;

– SQ, Sequence Indicator — индикатор последовательности; идентифицирует порядок индивидуальных блоков OPUk в OPUk-Xv, т.е. объединенных в единую последовательность (рис. 3.93);

– CTRL, LCAS Control Word — слово контроля согласования с емкостью линии передачи с определенными командами, кодированием и обработкой при управлении емкостью сцепленного канала;

– CID, LCAS Group Identification — идентификатор группы согласования с емкостью линии передачи; служит для верификации на приемной стороне всей группы каналов в одной линии передачи;

– RSA, Re-Sequence Acknowledge — восстановление последовательности; сообщение, которое индицирует для приемника восстановление последовательности со стороны передатчика;

– MST, Member Status field — поле статуса участника (объединяемого блока OPUk); используется один бит для каждого OPUk, объединеяемых в OPUk-Xv; статус (наличие или отсутствие) передается за 1567 мкс для $k = 1$, за 390 мкс — для $k = 2$, за 97 мкс — для $k = 3$;

– CRC-8, Cyclic Redundancy Check — циклический избыточный 8-разрядный код, вычисляемый для байт VCON1, VCON2 с использованием полинома $X8 + X2 + X + 1$, служит для контроля и исправления ошибок передачи на приемной стороне.

Пример упаковки данных STM-64 в OPU1-4v приведен на рис. 3.94.

Сцепляемые OPUk имеют определенные номиналы скоростей передачи и допустимые отклонения этих скоростей (табл. 3.14).

X = 4

	14X+1	14X+2	14X+3	15X	15X+1	15X+2	15X+3	16X	16X+1	..... 3824X
1	VCOH	VCOH	VCOH	VCOH	JC	JC	JC	NJO	PJO	4 x 3808D-1
2					JC	JC	JC	NJO	PJO	4 x 3808D-1
3					JC	JC	JC	NJO	PJO	4 x 3808D-1
4	PSI	PSI	PSI	PSI	JC	JC	JC	NJO	PJO	4 x 3808D-1

Рис. 3.94. Пример упаковки сигнала STM-64 в блок OPU1-4v

Таблица 3.14. Номинальные значения скоростей сцепляемых блоков OPUk

Тип OPUk-Xv	Скорость передачи, кбит/с	Отклонение скорости
OPU1-Xv	X × 2 488 320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
OPU2-Xv	X × 238/237 × 9 953 280	
OPU3-Xv	X × 238/236 × 39 813 120	

3.3.3. Блок данных оптического канала ODUk

Блок ODUk — информационная циклическая структура, используемая в оптическом канале для поддержки тракта из конца в конец. Информационная циклическая структура ODUk представлена двумя частями: полем нагрузки OPUk и полем заголовка ODUk (см. рис. 3.84). Емкости ODUk определены для $k = 1, 2, 3$ (табл. 3.15). В заголовке ODUk (рис. 3.95) помещается информация о функциях эксплуатации и управления при поддержке оптического канала OCh.



Рис. 3.95. Структура заголовка ODUk

Таблица 3.15. Типы и емкость блоков ODUk

Тип ODUk-Xv	Номинал битовой скорости ODUk, кбит/с	Отклонение скорости
ODU1	239/238 × 2488320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
ODU2	239/237 × 9953280	
ODU3	239/236 × 39813120	

Байты наблюдения тракта PM (Path Monitoring) и тандемного соединения TCM ODUk имеют следующее назначение (рис. 3.96):

- TTI, Trail Trace Identifier — идентификатор маршрута тракта; байт используется в 64 последовательных циклах, организуемых в сверхцикле ODUk из 256 циклов, где размещается четыре группы байтов по 64. В подгруппе идентификатора точки доступа источника SAPI (Source Access Point Identifier) может помещаться уникальный глобальный идентификатор соответствующего уровня сети или подгруппа имеет заполнение «0». В подгруппе идентификатора удаленной точки доступа DAPI (Distantion Access Point Identifier) также может применяться уникальный глобальный идентификатор или подгруппа имеет заполнение «0».
- BIP-8, Bit Interleaved Parity-8 — контроль ошибок методом битового паритетного сравнения восьми битов, производимый аналогично в SDH, но с передачей контрольного слова через цикл.

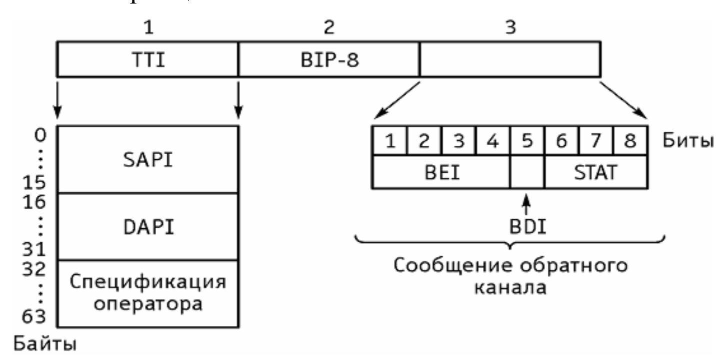


Рис. 3.96. Заголовок наблюдения тракта ODUk в поле PM и в поле TCM

Байт сообщения обратного канала представлен тремя группами функциональных битов:

- BEI/BIAE, Backward Error Indication/Backward Incoming Alignment Error — индикация ошибки в обратное направление; используется с системой контроля BIP-8 для оповещения удаленной стороны об ошибках (табл. 3.16) / индикация ошибки выравнивания входящего сигнала в обратное направление (используется только в полях TCM1–TCM6);
- BDI, Backward Defect Indication — индикация дефекта (повреждения) в обратное направление. Информация передается одним битом, если число обнаруженных ошибок BIP-8 превысит 8;
- STAT, Status — состояние тракта ODUk представлено таблицей интерпретации (табл. 3.17).

Таблица 3.16. Интерпретация бит BEI

Биты BEI с 1 по 4	Число ошибок по BIP
0 0 0 0 – 1 0 0 0	0…8
1 0 0 1 – 1 1 1 1	0

Таблица 3.17. Интерпретация статуса ODUk

Биты STAT 6 7 8	Статус
0 0 0 –1 0 0	Резерв для стандартизации
1 0 1	Поддержка сигнала запрета LCK-ODUk
1 1 0	Поддержка сигнала индикации открытого соединения OCI-ODUk
1 1 1	Поддержка сигнала «Авария» AIS-ODUk

Для наблюдения тандемного соединения TCM в сети OTN в заголовке ODUk предусмотрено шесть полей. Через эти поля могут быть соединены пары пользовательских интерфейсов в сети общего пользования. Например, это могут быть соединения пары оптических сетевых интерфейсов между узлами сети. Кроме того, TCM позволяют контролировать защитные переключения в подсети OTN для линейных трактов (режимы 1+1, 1:1) и трактов оптических каналов (режим 1:n) по сигналам повреждения и ухудшения качества передачи. На уровне оптического канала возможна поддержка наблюдения за защитным переключением в кольцевой сети. Структура поля TCMi, где $i = 1$, 2, …, 6 аналогична полю PM (рис. 3.96), но отличается возможностями поля 3-го байта, в котором предусмотрено сообщение BIAE. Сигнал BIAE используется для передачи в обратное направление результатов подсчета блоков с чередованием по битам, в которых была обнаружена ошибка соответствующим приемником контроля участка TCM с использованием BIP-8. Когда имеет место состояние ошибки, код 1011 вводится в поле BEI/BIAE и счет ошибок игнорируется.

Пример наблюдения участков OTN с помощью байтов TCM приведен на рис. 3.97, где треугольниками обозначены точки начала и конца трактов ODUk (A1–A2 (точки) — с наблюдением в TCM1, B1–B2 и B3–B4 (косые линии) — с наблюдением в TCM2, C1–C2 (горизонтальные линии) — с наблюдением в TCM3).

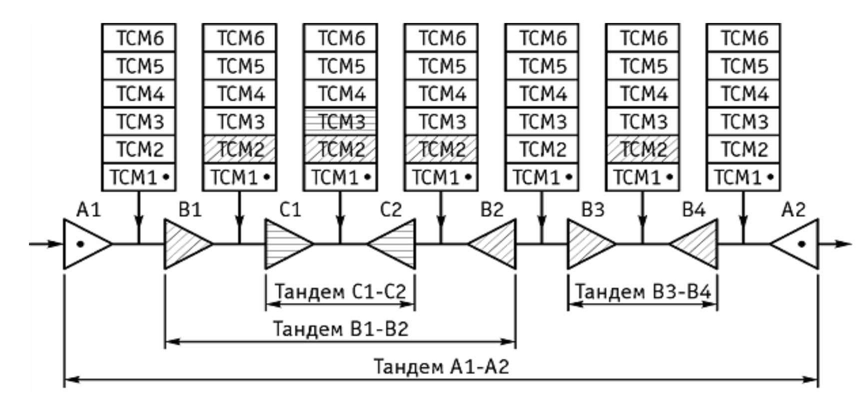


Рис. 3.97. Пример участков оптической сети с байтами TCM

Поля двух байтов в заголовке ODUk предназначены для поддержки общих каналов связи GCC (General Communications Channels) между двумя элементами сети с доступом к циклу ODUk (т.е. в точках с регенерацией типа 3R). Это пользовательские (операторские) каналы и их формат специфицируется отдельно по соглашению, например, для сети сигнализации при построении автоматически коммутируемой оптической транспортной сети ASON/ASTN.

Четыре байта заголовка ODUk (APS/PCC) (рис. 3.95 занимают столбцы с 5 по 8 и предназначены для автоматического защитного переключения ODUk, обеспечивая защиту оптического канала (рис. 3.98). Для информации о защищаемом соединении в тракте ODUk используются старшие биты (6…8) сверхциклового сигнала в заголовке OTUk/ODUk (см. рис. 3.106), обозначенного MFAS (Multiframe Alignment Signal — сигнал выравнивания свехцикла). Этот байт находится в первой строке колонки 7. Содержание битов MFAS указано в табл. 3.18 с соответствующей интерпретацией.

<table>
<tr><td colspan="8">1</td><td colspan="8">2</td><td colspan="8">3</td><td colspan="8">4</td><td>Байт</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>Бит</td></tr>
<tr><td colspan="8">Запрос/
состояние</td><td colspan="8">Тип
защиты</td><td colspan="8">Запрашиваемый
сигнал</td><td colspan="8">Резерв</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td>A</td><td>B</td><td>D</td><td>R</td><td colspan="8"></td><td colspan="8"></td><td colspan="8"></td><td></td></tr>
</table>

Рис. 3.98. Формат данных канала защиты APS/PCC

Таблица 3.18. Биты сверхцикла MFAS для управления защитным переключением

Биты MFAS 6 7 8	Уровень наблюдения соединения для защиты	Используемая схема защиты APS/PCC
0 0 0	ODUk — тракт	SNC/N
0 0 1	ODUk TCM1	SNC/S, SNC/N
0 1 0	ODUk TCM2	SNC/S, SNC/N
0 1 1	ODUk TCM3	SNC/S, SNC/N
1 0 0	ODUk TCM4	SNC/S, SNC/N
1 0 1	ODUk TCM5	SNC/S, SNC/N
1 1 0	ODUk TCM6	SNC/S, SNC/N
1 1 1	Секция OTUk	ODU-k SNC/I

В табл. 3.18 использованы следующие обозначения:

– SNC/N, Non-intrusively Monitored Subnetwork Connection protection — защитное переключение подсети без принудительного контроля;
– SNC/S, Sublayer (tandem connection) monitored Subnetwork Connection protection — защитное переключение подсети подуровня наблюдения (контроля) тандемного соединения;
– SNC/I, Inherently monitored Subnetwork Connection protection — защитное переключение подсети, контролируемое (наблюдаемое) внутри.

Форматы данных канала защиты APS/PCC (рис. 3.98) находятся в стадии разработки. Однако некоторая информация по защите в линейной схеме уже определена и представлена табл. 3.19 для первых трёх байтов.

Таблица 3.19. Поля канала защиты APS/PCC

№ байта	Тип поля		Код	Описание функций данных
1	Запрос/состояние		1 1 1 1	Нет применения
			1 1 1 0	Быстрое переключение
			1 1 0 0	Сигнал повреждения (SF)
			1 0 1 0	Сигнал деградации (SD)
			1 0 0 0	Ручное переключение
			0 1 1 0	Ожидание восстановления
			0 1 0 0	Ручное управление
			0 0 1 0	Возврат по запросу
			0 0 0 1	Без возврата
			0 0 0 0	Нет запроса
			Другие	Резерв
	Тип защиты	A	0	Нет канала APS
			1	Канал APS
		B	0	1+1
			1	1:*n*
		D	0	Однонаправленное переключение
			1	Двунаправленное переключение
		R	0	Операция без возврата
			1	Операция с возвратом
2	Запрашиваемый сигнал		0	Сигнал «ноль»
			1…254	Нормальный трафиковый сигнал
			255	Сверхтрафиковый сигнал
3	Сигнал сопряжения		0	Сигнал «ноль»
			1…254	Нормальный трафиковый сигнал
			255	Сверхтрафиковый сигнал

Один байт в заголовке ODUk определен для транспортировки 256 байтов сообщений о типе повреждения и трансляции локального повреждения канала связи. Он обозначается FTFL (Fault Type and Fault Location reporting communication channel). Байт используется в сверхцикле из 256 циклов ODUk, и переносит сообщения в виде двух 128-байтовых полей прямого (*а*) и обратного (*б*) действия (рис. 3.99).

Поле индикации повреждения используется только в трех состояниях: 0000 0000 — нет повреждения; 0000 0001 — сигнал повреждения; 0000 0010 — сигнал ухудшения. Остальные состояния не определенны.

Поле идентификации оператора строится в соответствии с международными стандартами ISO 3166 (код страны) и МСЭ-Т М.1400.

Для экспериментального использования в заголовке ODUk предусмотрены два байта (EXP, Experimental). Эти байты не являются предметом стандартизации и могут использоваться операторами сетей OTN по своему усмотрению.

Для увеличения емкости информационных данных, передаваемых через оптические каналы, в схеме мультиплексирования OTH предусмотрено формирование различных объе-

диненных групповых блоков данных, обозначаемых ODTUjk (Optical channel Data Tributary Unit j into k) или ODTUGk (Optical channel Data Tributary Unit Group). Значение индексов j = 1, 2, k = 2, 3 указывает на физический объем объединенных блоков и их состав.

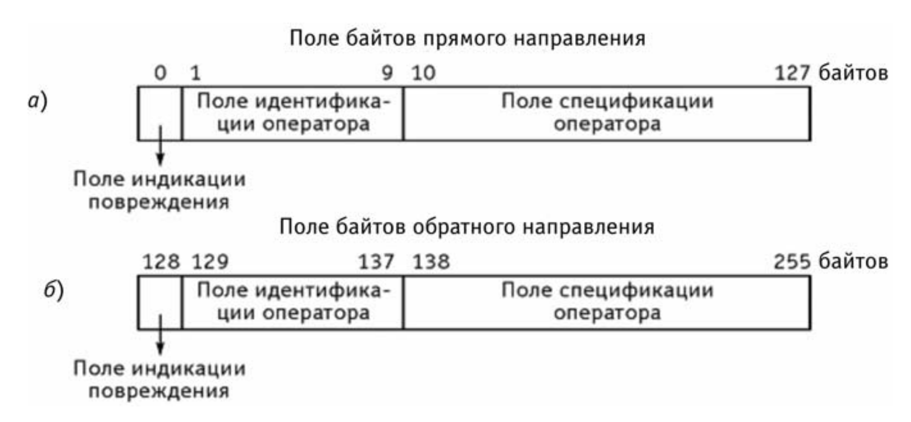


Рис. 3.99. Структура сообщения, передаваемого FTFL

Блок ODTU12 имеет структуру состоящую из 952 колонок и 16 (4 × 4) строк байтов и одной колонки заголовка выравнивания JOH (Justification Overhead) (рис. 3.100). Слева указаны номера блоков ODTU12 в сверхцикле OPU2. В ODTU12 размещаются четыре ODU1. Упаковка сигнала ODU1 в сигнал ODTU12 предусматривает асинхронное размещение (из-за отклонения тактов от номинала в пределах $\pm 20 \cdot 10^{-6}$ битовой скорости). Асинхронное сопряжение связано с операцией положительного и отрицательного согласования (–1/0/+1/+2) (табл. 3.20). ODTU12 отображен на схеме мультиплексирования OTH блоком ODTUG2. Аналогична и трактовка байтов JC, NJO, PJO1, PJO2 и для ODTU13, ODTU23.



Рис. 3.100. Формат блока информационных данных ODTU12

Таблица 3.20. Сообщения в байтах JC, NJO, PJO1, PJO2 и их интерпретация

JC 7 8	NJO	PJO1	PJO2	Интерпретация
0 0	Байт согласования	Байт данных	Байт данных	Нет согласования (0)
0 1	Байт данных	Байт данных	Байт данных	Отрицательное согласование (–1)
1 0	Байт согласования	Байт согласования	Байт согласования	Двойное положительное согласование (+ 2)
1 1	Байт согласования	Байт согласования	Байт данных	Положительное согласование (+ 1)

Структуру блока ODTU13 включает 238 колонок и 64 (4 × 16) строк байтов, а также еще одну колонку заголовка выравнивания JOH (рис. 3.101). Колонка 119 используется для фиксированной вставки (все нули). В ODTU13 размещаются 16 ODU1.

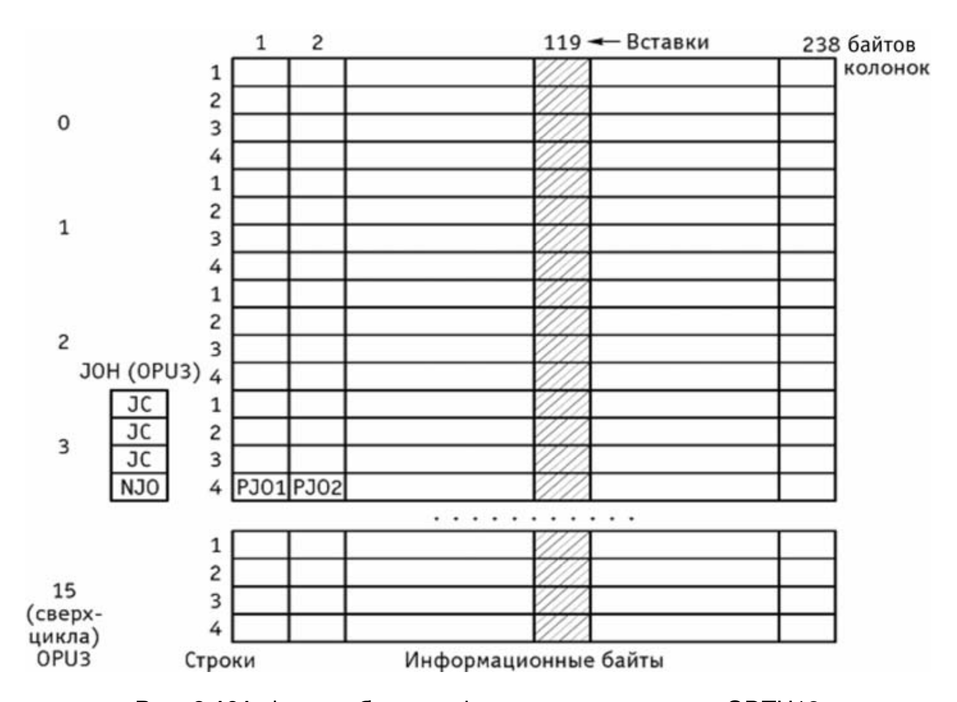


Рис. 3.101. Формат блока информационных данных ODTU13

Структура блока ODTU23 включает 952 колонки и 64 (4 × 16) строк байтов, а также 4 колонки заголовка выравнивания JOH (рис. 3.102). В ODTU23 размещаются 4 ODU2.

Блоки ODTU13 и ODTU23 отображены на схеме мультиплексирования OTH блоком ODTUG3 (см. рис. 385).

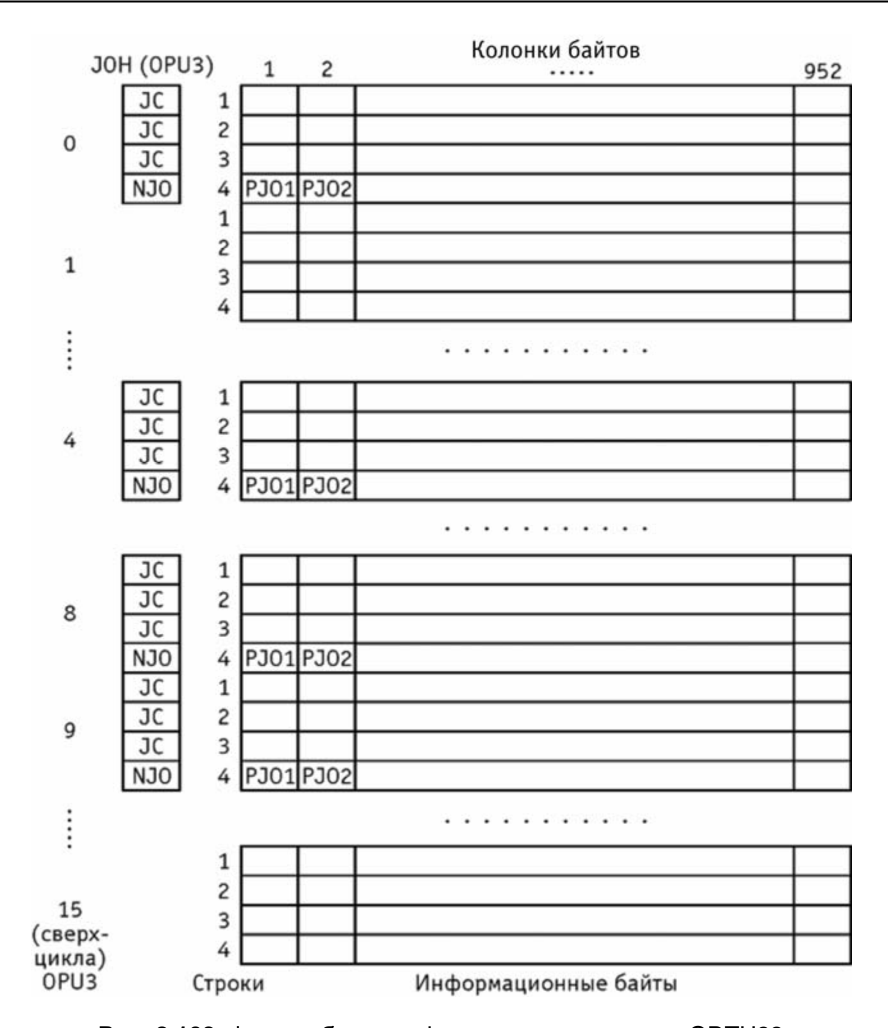


Рис. 3.102. Формат блока информационных данных ODTU23

3.3.4. Оптический транспортный блок OTUk

Оптический транспортный блок OTUk, где $k = 1, 2, 3$, является основным цифровым транспортным средством оптической сети OTN, передаваемым с определенной цикличностью в оптическом канале (см. табл. 3.11). В структуру OTUk помещаются блоки ODUk (рис. 3.103).

Блок OTUk перед отправкой в оптический канал проходит процедуру скремблирования за исключением байт заголовка OH (FAOH, OTUk OH) (рис. 3.104). Для скремблирования применяется полином $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$.

На рис. 3.105 представлена детальная структура заголовка блока OTUk.

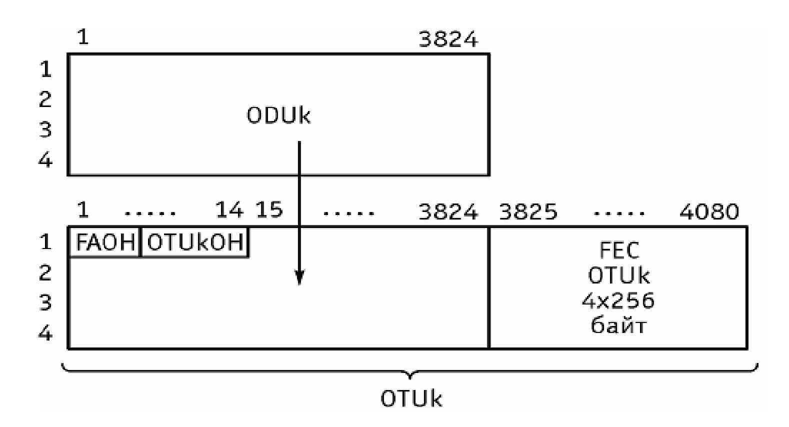


Рис. 3.103. Введение блока ODUk в блок OTUk

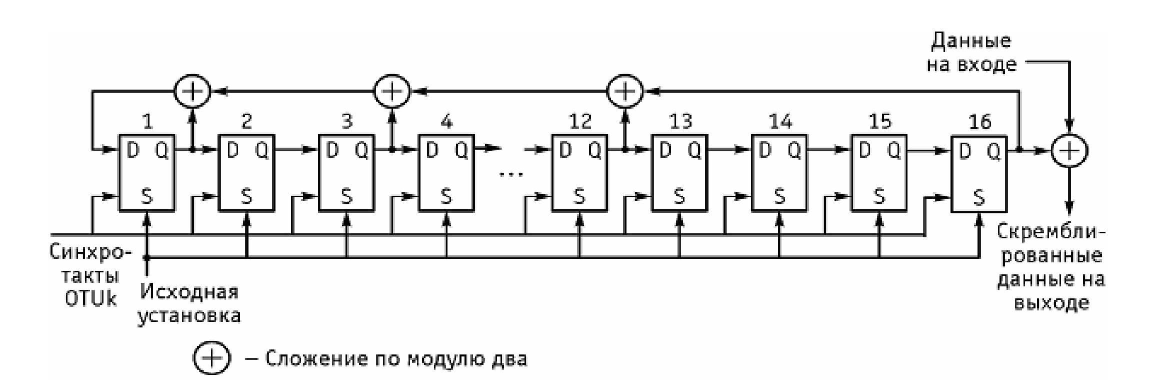


Рис. 3.104. Скремблер блока данных OTUk

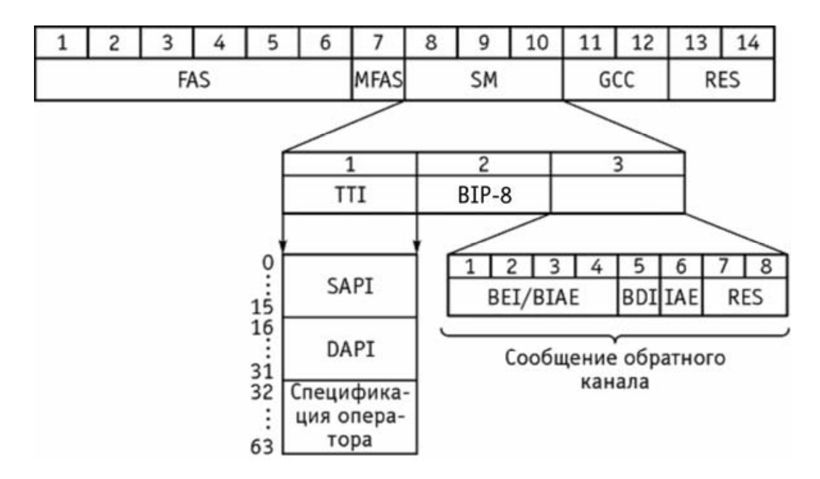


Рис. 3.105. Структура заголовка блока OTUk

На рис. 3.105 использованы следующие обозначения:

FAS, Frame Alignment Signal — синхросигнал, указывающий на начало цикла;

MFAS, Multiframe Alignment Signal — синхросигнал сверхцикла;

SM, Section Monitoring — наблюдение секции;

GCC, General Communication Channel — общий канал связи;

BIP-8, Bit Interleaved Parity — битовое паритетное сравнение по 8 битам;

SAPI, Source Access Point Identifier — идентификатор источника (передатчика) точки доступа;

DAPI, Destination Access Point Identifier — идентификатор адреса информации точки доступа;

BEI, Backward Error Indication — индикатор ошибки в обратное направление;

BIAE, Backward Incoming Alignment Error — ошибка согласования на входе для передачи в обратном направлении;

BDI, Backward Defect Indication — индикация дефекта в обратное направление;

IAE, Incoming Alignment Error — ошибка согласования на входе.

Рассмотрим назначение и функции элементов структуры заголовка блока OTUk.

Синхронизация по циклу FAS представлена шестью байтами, из которых первые три имеют постоянное чередование «1111 0110», а вторые три постоянное чередование «0010 1000».

Синхронизация по сверхциклу MFAS представлена одним байтом с изменяемой структурой в 256 циклах (рис. 3.106). Сигнал MFAS используется для распределения данных байта TTI и для объединения данных OTUk/ODUk. В сверхцикле может быть образована цикловая структура, например с циклами 2, 4, 8, 16, 32, и т.д.

Байт MFAS								
1	2	3	4	5	6	7	8	
. . . .								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	2
0	0	0	0	0	0	1	1	3
. . . .								⋮
1	1	1	1	1	1	1	0	254
1	1	1	1	1	1	1	1	255
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1
. . . .								

Рис. 3.106. Структура MFAS

Байты TTI и BIP-8 имеют назначения, которые аналогичны приведенным ранее.

Байт сообщения обратного канала блока данных SM имеет структуру отличную от аналогичного байта заголовка ODUk. Первые его четыре бита BEI/BIAE предназначены для индикации ошибок приема OTUk и ошибки рассогласования упаковки на приеме. Байт используется в направлении противоположном приему первых двух байтов заголовка OTUk. Битами BEI сообщается о числе ошибок, обнаруженных по байту BIP-8 в секции OTUk. Битами BIAE производится оповещение об ошибочном состоянии упаковки данных в OTUk при мониторинге секции OTUk (табл. 3.21).

Таблица 3.21. Состояния битов BEI/BIAE и их интерпретация

Состояние битов BEI/BIAE	Интерпретация BIAE	Сообщение о числе ошибок по BIP-8
0 0 0 0 … 1 0 0 0	Ненормально	0…8
1 0 0 1, 1 0 1 0	Ненормально	0
1 0 1 1	Нормально	0
1 1 0 0 … 1 1 1 1	Ненормально	0

При индикации BIAE код «1011» указывает на нормальное состояние с размещением информации в OTUk.

Бит BDI является сигналом дефекта, направляемым в обратную по отношению к приему сторону. Этот сигнал устанавливается в случае повреждения секции OTUk. Индикацией повреждения является «1», а нормального состояния «0».

Бит IAE используется в качестве сигнала ошибки упаковки, получаемого на приеме OTUk. Это фазовый сдвиг цикла или ошибки обнаружения фазы цикла, обусловленные искажениями информации цикла. Индикация ошибки это «1», а нормальное состояние «0».

Биты RES зарезервированы для будущих стандартов. Их состояние при передаче «00».

Поле FEC OTUk предназначено для обнаружения и исправления ошибок в цикле OTUk. Для обнаружения и исправления ошибок чаще всего используются циклические блочные коды: коды Хэмминга, коды Боуза-Чоудхури-Хоквенгема (БЧХ), коды Рида-Соломона (RS).

В технике OTN нашли широкое применение коды Рида-Соломона. При использовании этих кодов данные обрабатываются порциями по m бит, которые именуют символами. Код RS(n, k) характеризуется следующими параметрами:

– длина символа — m бит;
– длина блока — $n = (2m - 1)$ символов $= m(2m - 1)$ бит;
– длина блока данных — k символов;
– $n - k = 2t$ символов $= m(2t)$ бит;
– минимальное расстояние Хэмминга — $d_{\min} = (2t + 1)$;
– число ошибок, требующих исправления — t.

Алгоритм кодирования RS(n, k) расширяет блок k символов до размера n, добавляя ($n - k$) избыточных контрольных символов. Как правило, длина символа является степенью 2 и широко используется значение $m = 8$, т.е. символ равен одному байту. Для исправления всех одно- и трёхбитовых ошибок в символах требуется выполнение неравенства:

$$\left(n + \frac{n(n-1)}{2}\right)\Phi\left(2^{n-k} - 1\right).$$

Для исправления ошибок в OTUk применяется 16-символьный код RS(255, 239), который относится к классу линейных циклических блочных кодов. Каждый OTUk разбивается на блоки символов данных по 239 байт. Для каждого такого блока вычисляется контрольный блок из 16 символов-байт и присоединяется к 239 байтам. Таким образом, $n = 255$, $k = 239$, т.е. RS(255, 239). Объединенный блок k и $n - k$ образуют подстроку OTU. Синхронное побайтовое мультиплексирование подстрок образует одну строку OTUk (рис. 3.107).

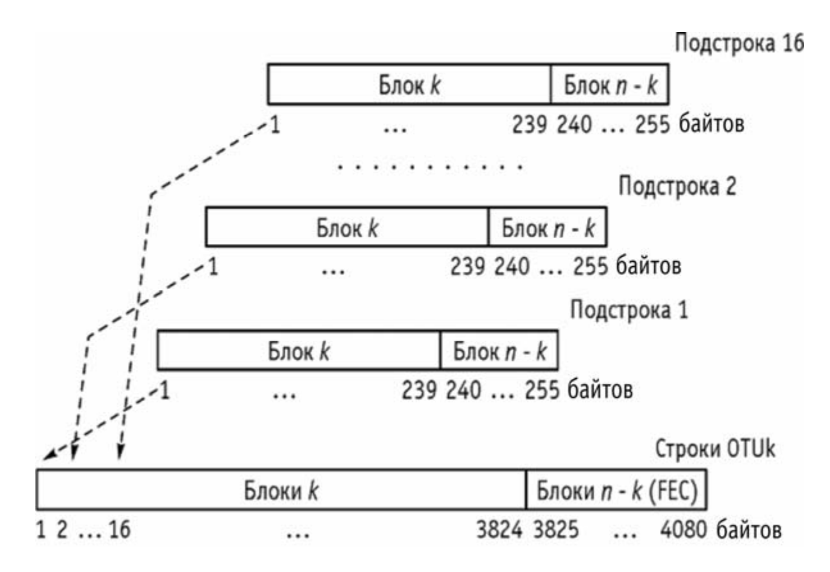


Рис. 3.107. Образование строки OTUk с блоком контроля FEC

Порядок передачи строки OTUk — слева направо. При формировании блока $(n - k)$ блок данных k сдвигается на $n - k$ и делится на производящий полином:

$P = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1.$

В результате получается частное от деления и остаток деления длиной $n - k$. Блок данных k и остаток от деления объединяются, образуя подстроку. После передачи подстроки на приемной стороне производится ее деление на производящий полином P, аналогичный тому, что был на передаче. Если после деления остаток равен нулю, то передача прошла без ошибок. Если после деления остаток не равен нулю, то это признак ошибки. Место положения ошибки в блоке k обнаруживается по остатку, например табличным методом.

Исправлению подлежит заданное количество ошибок в символе (один-два или более в байте). Благодаря тому, что RS(255, 239) имеет расстояние Хэмминга $d_{\min} = 17$ можно корректировать до восьми символьных ошибок. При этом число обнаруживаемых ошибок составляет 16 в подстроке с FEC. Практическая эффективность кодирования RS(255, 239) может составить от 5 до 8 дБ, т.е. FEC позволяет увеличивать длины участков передачи по сравнению с системами без FEC.

3.3.5. Блок оптического канала OCh

Транспортировка информационных данных пользователя сети OTN в каждом оптическом канале OCh происходит между точками включения регенераторов 3R, восстанавливающих амплитуду, форму и длительность электрических импульсов. Пользовательские сигналы в OCh представляют собой сигналы OTUk. Кроме того, OCh могут поддерживать передачу других цифровых сигналов, например STM-N, GbEthernet. Блок оптического канала может создавать сетевой цикл полной или упрощенной формы.

Полная форма цикла уровня OCh предполагает перенос пользовательских данных на отдельной оптической частоте и заголовка каждого оптического канала на общей оптической частоте для *n*-каналов, т.е. отдельным оптическим сервисным каналом (OOS).

Упрощенная форма сигнала уровня OCh исключает оптический сервисный канал. Обе формы данных OCh представлены на рис. 3.108. Для каждого оптического канала OCh-n используется поле сигналов обслуживания (рис. 3.109), помещаемое в заголовке.

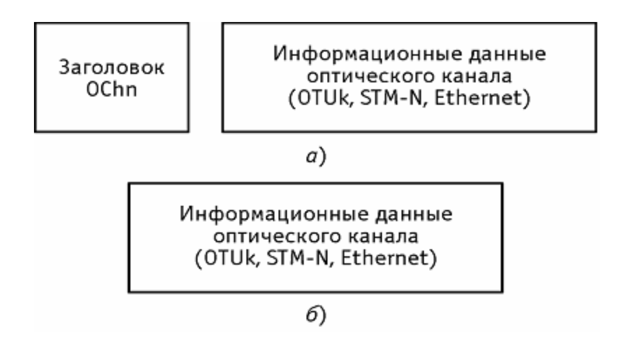


Рис. 3.108. Формы представления информации OCh:
а) Полная форма OCh; *б*) Упрощенная (редуцированная) форма OCh

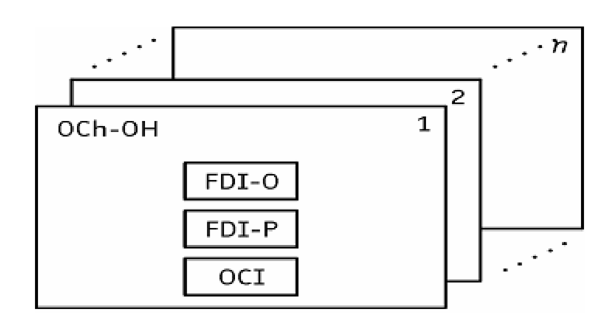


Рис. 3.109. Поле сигналов обслуживания OCh-n OH

Это поле обслуживания используется вместе с полями обслуживания OMS-n, OTS-n и транслируется на отдельной оптической частоте.

Сигнал OCh-FDI-O генерируется как сигнал повреждения в OOS (OTM Overhead Signal).

Сигнал OCh-FDI-P генерируется как сигнал индикации неисправности оптического канала OCh на уровне оптической секции мультиплексирования OMS. Когда завершается OTUk сигнал OCh-FDI направляется как сигнал ODU-k-AIS, т.е. сигнал аварии.

Сигнал OCh-OCI посылается в нисходящем направлении и указывает на то, что в восходящем направлении в функции соединения матричное соединение разорвано действием команды управления. Обнаруженное в результате состояние потери сигнала в конечной точке канала OCh теперь может быть связано с разомкнутой матрицей. Детальная информация о структуре данных заголовка OCh OH дорабатывается стандартизирующими организациями.

3.3.6. Блок переноса оптического канала OCC

Блок переноса оптического канала OCC (Optical Channel Carrier) предназначен для модуляции/демодуляции оптической частоты (см. рис. 3.85). Он может исполнять функции в двух вариантах: OCCo и OCCr. Вариант блока OCC используется в полнофункциональной схеме оптического мультиплексирования с формированием заголовка OCCo и поля нагрузки OCCp в секции мультиплексирования OMS, что рассмотрено в предыдущем разделе. Вариант блока OCCr используется в упрощенной схеме оптического мультиплексирования без заголовка OCCo.

Каждому блоку OCC придается точно определенная оптическая частота, соответствующая стандарту DWDM или CWDM. DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing — плотное мультиплексирование с разделением по длине волны по рекомендации МСЭ-Т G.694.1. CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing — редкое мультиплексирование с разделением по длине волны по рекомендации МСЭ-Т G.694.2.

3.3.7. Блок группирования оптических несущих частот порядка *n* OCG-n

Блок группирования оптических несущих частот порядка *n* OCG-n, (Optical Carrier Group of order n) предназначен для мультиплексирования/демультиплексирования до 16-и частот. Предусмотрено две разновидности группирования: OCG-n.m и OCG-nr.m. Группирование OCG-n.m состоит в объединении/делении *n* оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU-m в любом сочетании *m* (OTU1, OTU2, OTU3) и канала обслуживания с заголовком OCCo. Группирование OCG-nr.m состоит в объединении/делении n оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU-m в любом сочетании m (OTU1, OTU2, OTU3). В этом варианте группирования не предусмотрено отдельного ассоциированного заголовка.

Благодаря группированию OCG-n создается оптическая секция мультиплексирования OMS-n, в которой образуются блоки оптического мультиплексирования OMU-n (Optical Multiplex Union-n, n > 1). Для поддержки уровня оптической секции мультиплексирования создается заголовок секции мультиплексирования OMS-nOH, транспортируемый в сервисном канале OOS (рис. 3.110).

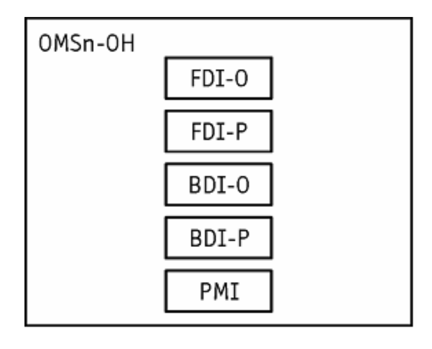


Рис. 3.110. Заголовок оптической секции мультиплексирования OMS-nOH

В OMS-nOH определены функциональные блоки данных обслуживания:

FDI-P, Forward Defect Indication-Payload — индикация дефекта нагрузки «вперед», т.е. в прямом направлении передачи сигнала OMS-n (состояние: нормально или повреждено);

FDI-O, Forward Defect Indication-Overhead — индикация дефекта заголовка «вперед», т.е. в прямом направлении передачи сигнала OMS-n (состояние: нормально или повреждено);

BDI-P, Backward Defect Indication-Payload — индикация дефекта нагрузки в обратном направлении передачи сигнала OMS-n от места обнаружения;

BDI-O, Backward Defect Indication-Overhead — индикация повреждения (дефекта) заголовка OMS-n в обратное направление от места обнаружения;

PMI, Payload Missing Indication — индикация пропадания информационной нагрузки в упаковках OCCp сигналов оптических каналов.

3.3.8. Блок оптического транспортного модуля OTM-n.m

Блок оптического транспортного модуля OTM-n.m поддерживает оптическую секцию передачи OTS-n в оптической транспортной сети OTN. Модуль OTM-n.m создается в OTS-n и состоит из оптических частот нагрузки OMS-n и отдельного заголовка OTS-n OH, передаваемого в OOS (рис. 3.111).

В OTS-n OH определены функциональные блоки данных обслуживания (мониторинга): TTI, BDI-P, BDI-O и PMI, расшифровка которых приведена в 3.37.

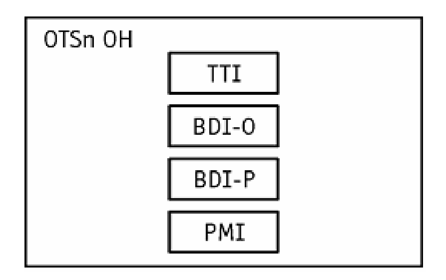


Рис. 3.111. Заголовок оптической секции передачи OTS-n

Понятие оптической секции передачи может быть ассоциировано с понятием оптической физической секции порядка n, OPS-n. В OPS-n передается многоволновый оптический сигнал по определенной физической среде (волокна, соответствующие рекомендациям G.652, G.653, G.655, G.656). Кроме того, допускается ассоциация OMS и OTS в OPS. Число n установлено не более 16. Очевидно, что в паре оптических волокон можно организовать несколько отдельных OPS, в каждом из которых может быть до 16 волн.

Сообщения по обслуживанию всех участков оптической сети представлены на рис. 3.112.

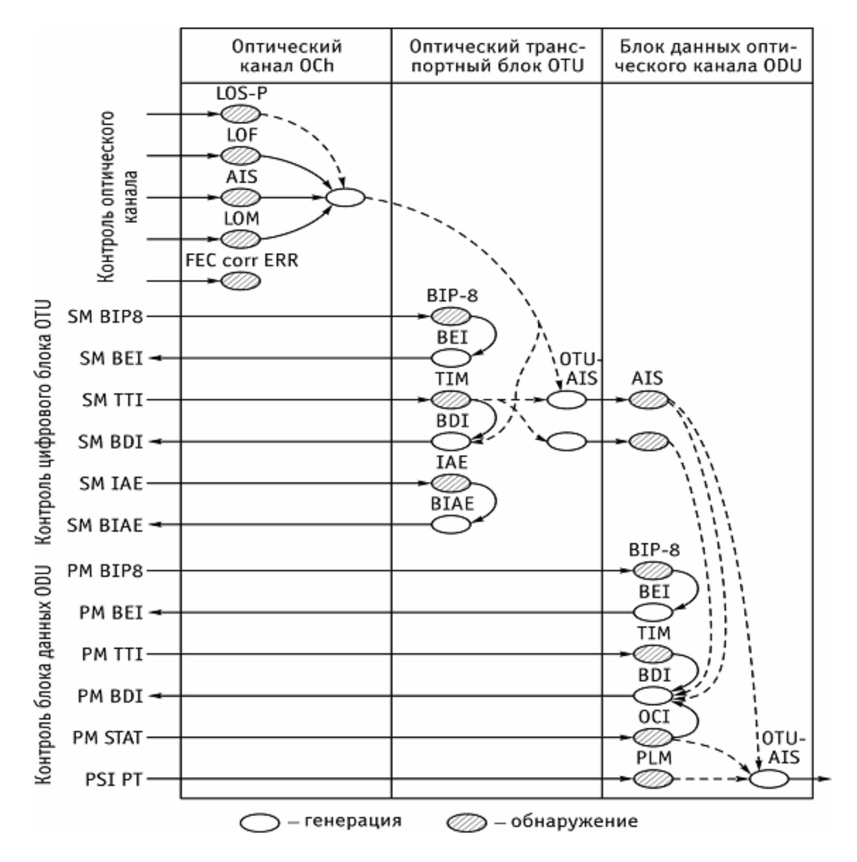


Рис. 3.112. Пример функций контроля в сети OTH

3.4. Технология мультиплексирования Ethernet

Последнее поколение технологии Ethernet имеет расширенные возможности по переносу пользовательских сообщений. Согласно международной стандартизации (Рекомендация МСЭ-Т G.8010/Y.1306) оно представлено двумя классами интерфейсов:

– интерфейсы Ethernet, специфицированные в серии стандартов IEEE 802.3 (LAN), IEEE P802.3ah (PON);
– интерфейсы транспортной сети Ethernet EoT (Ethernet-over-Transport), специфицированные рекомендацией МСЭ-Т G.8012/Y.1308.

Основное внимание в дальнейшем уделяется интерфейсам EoT, однако для полного представления о технологии Ethernet рассматривается и решение на основе стандарта IEEE 802.3.

3.4.1. Ethernet стандарта IEEE 802.3

Стандарт IEEE 802.3 прошел длительный путь эволюционного развития от технологии доступа с контролем коллизий на витой паре, «тонком» или «толстом» коаксиальном ка-

беле, до одномодовых световодов с дуплексной раздельной передачей и построением пассивной оптической сети. При этом скоростной режим возро от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с и уже в ближайшее время достигнет 100 Гбит/с [11, 58].

В процессе эволюции Ethernet меняется не только скоростной режим, но и форматы кадров передачи, в которых учитываются возможности дуплексной передачи и хронометраж передачи. Пример двух различных форматов кадров приведен на рис. 3.113.

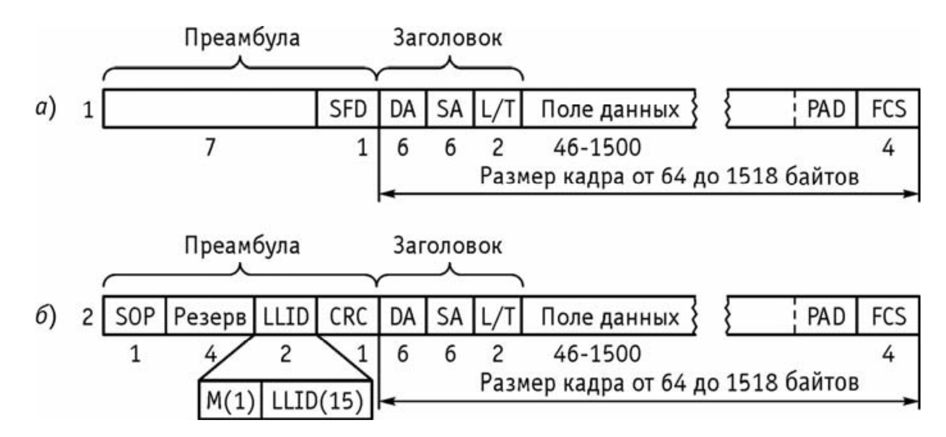


Рис. 3.113. Форматы кадров Ethernet:
а) кадр стандарта IEEE 802.3; *б*) кадр стандарта IEEE P802.3ah

Поля кадров Ethernet имеют следующее назначение:

– преамбула состоит из семи байтов 10101010;
– SFD, Start-of-Frame-Delimiter — начальный ограничитель кадра, состоит из одного байта 10101011, появление которого указывает на то, что следующий байт относится к заголовку;
– DA, Destination Address — адрес назначения длиной от 2 до 6 байтов;
– SA, Source Address — адрес источника от 2 до 6 байтов, содержит адрес узла-отправителя данных;
– L/T, Length/Type — длина или тип кадра, указывает в двух байтах на длину или тип кадра, последний может быть задействован для обозначения разнотипных кадров;
– поле данных, которое может содержать до 1500 байт;
– поле PAD (Padding), заполняет недостающее пространство данных длиной до 46 байтов;
– FCS, Frame Check Sequence — поле контрольной суммы (CRC-32);
– SOP, Start of Packet — поле указывает на начало кадра пассивной оптической сети стандарта IEEE P802.3ah;
– резервное поле длиной 4 байта;
– LLID, Logical Link Identificator — индивидуальный идентификатор узла PON длиной два байта;
– первый бит LLID указывает на вид соединения «точка-точка» или «точка-многоточка», а остальные 15 бит содержат собственно индивидуальный адрес узла EPON;

– CRC, Circle Redundancy Check — контрольная сумма по преамбуле.

Протокольная организация Ethernet предусматривает контроль коллизий, т.е. одновременную передачу по общей линии сообщений более чем одной станцией. Для этого в различных версиях Ethernet предусмотрены такие механизмы, как CSMA/CD или MPCP. Метод доступа CSMA/CD (Carrier-Sense Multiply-Access/Collision Detection) называется методом множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий и применяется исключительно в сетях с логической общей шиной, к которой подключаются рабочие станции. Протокол доступа MPCP (Multi-Point Control Protocol) — протокол управления множеством узлов, который поддерживает порядок передачи данных и устраняет коллизии.

Совместно с формированием логических кадров передачи данных протоколы доступа являются частью логической структуры интерфейсов Ethernet, соответствующих физическому и канальному уровням модели взаимодействия открытых систем OSI (рис. 3.114).

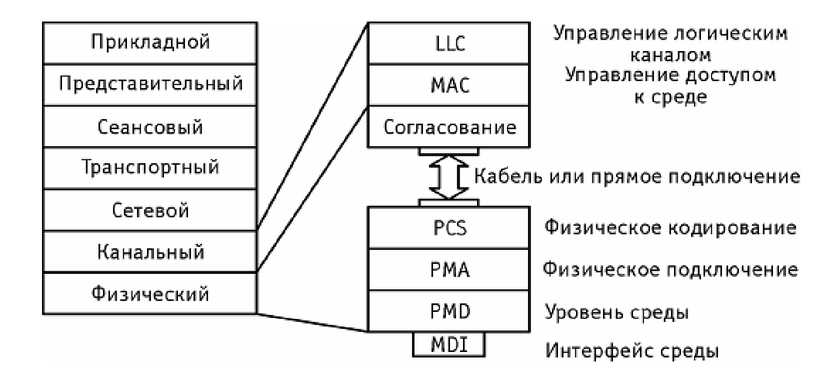


Рис. 3.114. Протокольная структура Ethernet

Протокол управления логическим каналом LLC (Logical Link Control) может поддерживать одну из следующих процедур передачи:

– передача без установления соединений и без подтверждений (дейтаграммы);
– передача с установлением соединения (образованием логического канала) и подтверждением;
– передача без установления соединения, но с подтверждением.

Протоколы управления доступом к среде MAC (Media Access Control) это уже рассмотренные примеры CSMA/CD и MPCP.

Адресное пространство кадра Ethernet фиксируется в MAC-адресе полем длиной 48 битов (рис. 3.115). Таким образом максимальный адрес составляет 2^{48}. Адресное пространство поделено в шестнадцатеричной системе согласно IEEE 802.1D и 802.1Q для кадров управления:

– для всех мостов (01-80-02-00-00-10);
– резервные адреса (от 01-80-C2-00-00-00 до 01-80-C2-00-00-0F);
– GARP(Generic Attribute Registration Protocol — протокол, используемый для регистрации некоторых абстрактных свойств или атрибутов в рамках сети) прикладные адреса (от 01-80-C2-00-00-20 до 01-80-C2-00-00-2F).

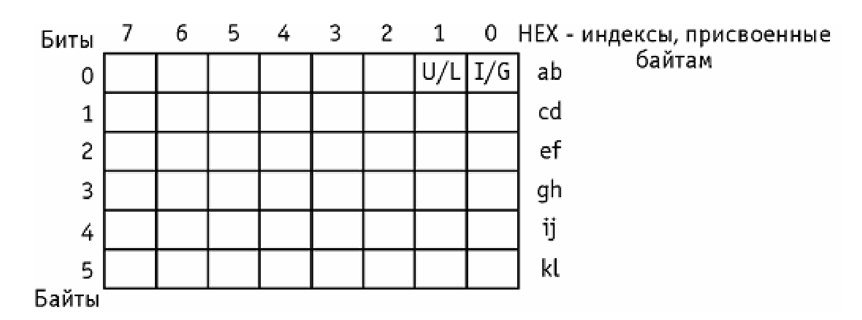


Рис. 3.115. Структура адресации в MAC

На рис. 3.115 приняты следующие обозначения:

Индексы шестнадцатеричного счисления, присвоенные байтам адресного пространства, HEX существуют в виде сочетаний ab-cd-ef-gh-ij-kl. I/G указывает на адресные биты: 0 — индивидуальный адрес; 1 — групповой (широковещательный) адрес. U/L указывает на адресные биты: 0 — универсальная администрируемая адресация; 1 — локально администрируемая адресация. Обозначения: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l могут принимать значения от 0 до F (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F) в шестнадцатеричной системе счисления.

Обозначение GARP (Generic Attribute Registration Protocol) — протокол, используемый для регистрации некоторых абстрактных свойств в рамках сети.

Остальное адресное пространство разделено для широковещательных и отдельных услуг по передаче данных.

Физическое кодирование PCS (Physical Coding Sublayer — подуровень физического кодирования) зависит от вида среды передачи, например, используется кодирование 4B5B в формате NRZ для передачи по волоконно-оптической линии. Подробную информацию по кодированию в физической среде можно получить в [11, 58].

3.4.2. Ethernet стандарта EoT

Кадры Ethernet EoT содержат сообщения о типе нагрузки, протокольные метки доступа в подсеть SNAP (Subnetwork Access Protocol), данные контроля логического канала LLC (Logical Link Control) с адаптированными пользовательскими сигналами, метками длины поля пользовательской нагрузки в кадре и типом кадра Ethernet. Транспортировка кадров Ethernet EoT может осуществляться с наблюдением транспортного тракта из конца в конец ETHP (Ethernet end-to-end path) и сегментным мониторингом ETHS (Segment monitoring). Все известные виды транспортных решений для Ethernet представлены на рис. 3.116. Большинство вариантов транспортировки (EoT) уже стандартизированы Ethernet в интерфейсах PDH, SDH, OTH, ATM (EoP, EoS, EoO, EoA), однако перенос кадров Ethernet через сети с протоколами MPLS (EoM) и RPR (EoR) еще находятся в стадии разработки стандартов. Для переноса кадров Ethernet без промежуточных технологических преобразований разработаны интерфейсы физического уровня ETY в стандарте IEEE 802.3, примеры которых приведены в табл. 6.5. Возможное множество вариантов реализации интерфейсов ETY обозначается ETYn (см. рис. 3.122, 3.123).

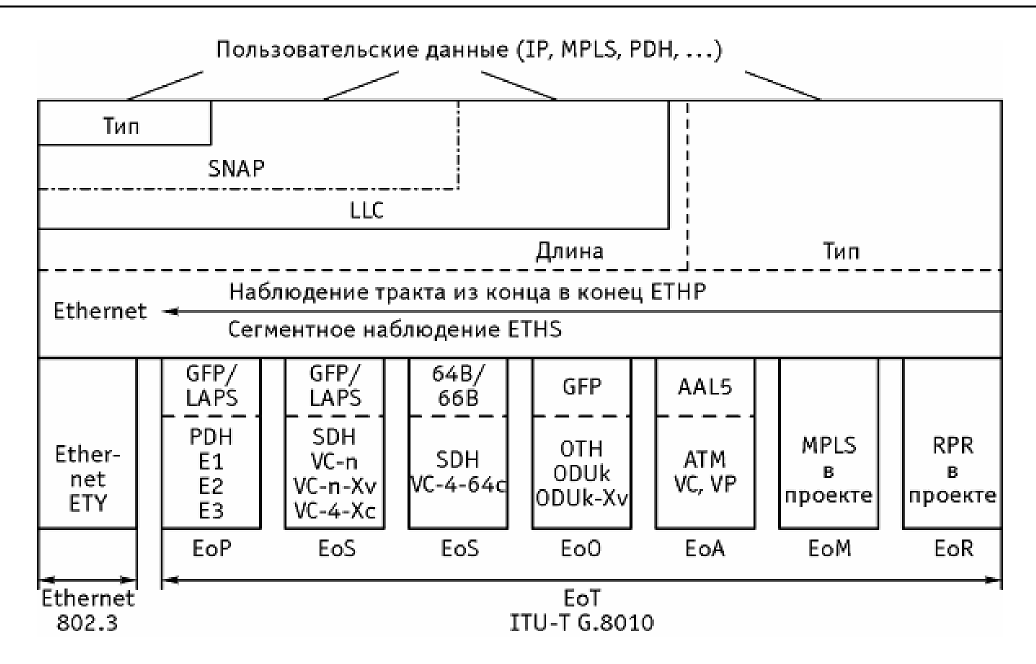


Рис. 3.116. Структура интерфейсов Ethernet с различными средами передачи

Ниже рассмотрены общие и конкретные варианты размещений данных Ethernet в транспортных структурах и варианты мультиплексирования Ethernet.

Линейный кадр Ethernet (рис. 3.117) содержит поля: преамбулы PA, метку канала кадра SFD, поле данных пользователя, контрольное поле FCS. Общий принцип размещения кадра Ethernet в поле кадра GFP-F рассмотрен в разделе 3.5. На рис. 3.118 представлен пример упаковки кадра Ethernet в кадр GFP-F.

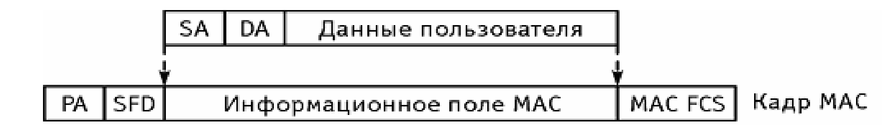


Рис. 3.117. Линейный кадр Ethernet

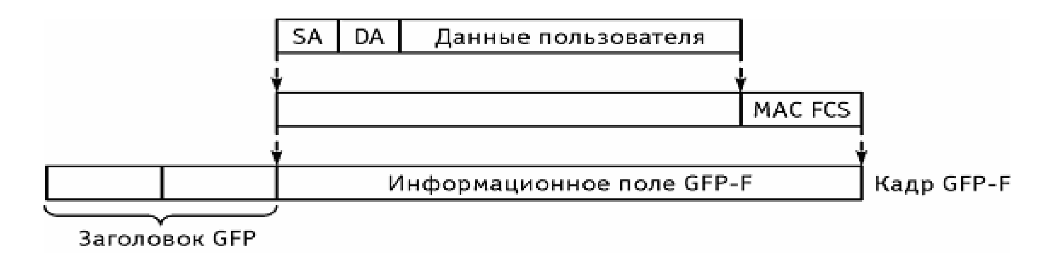


Рис. 3.118. Линейный кадр GFP-F

Линейное кодирование для транспортных сетей определено стандартом IEEE 802.3ah, что предусматривает дополнительные поля S, T и свободное поле продления (рис. 3.119).

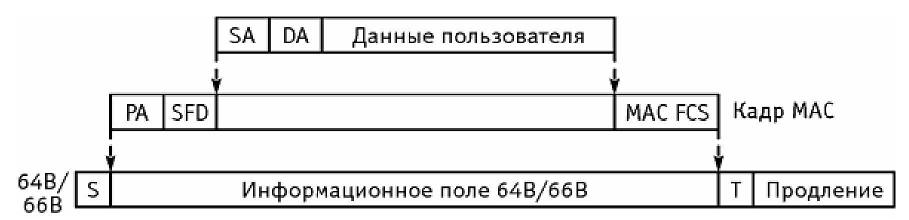


Рис. 3.119. Линейный кадр 64B/66B

Формирование линейного кадра LAPS (Link Access Procedure-SDH) предусмотрено для эффективного использования ресурсов транспортировки сети SDH (или PDH) при транспортировке данных сети Ethernet. Это определено рекомендацией МСЭ-Т X.86 (рис. 3.120).

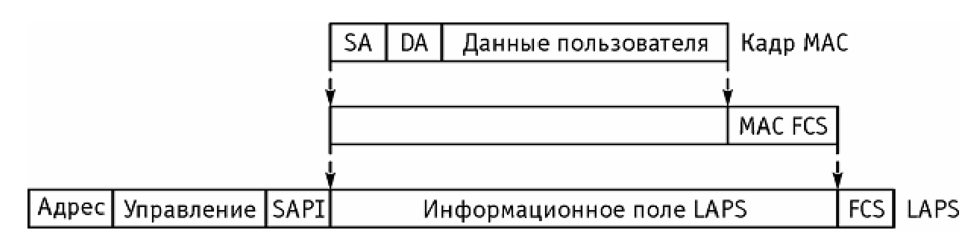


Рис. 3.120. Линейный кадр LAPS

На рис. 3.121 представлен один из примеров упаковки кадра Ethernet для транспортировки в сети ATM с адаптацией на уровне AAL-5.

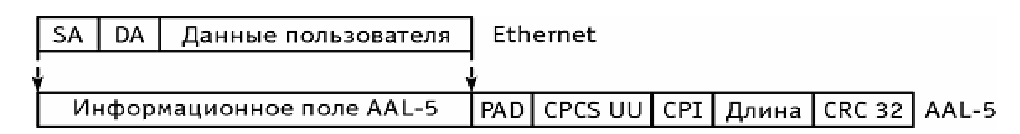


Рис. 3.121. Линейный кадр в ATM

3.4.3. Построение схем мультиплексирования Ethernet

Схемы мультиплексирования Ethernet различаются ступенями мультиплексирования. Общая схема мультиплексирования представлена на рис. 3.122.

Одноступенчатая схема мультиплексирования кадра Ethernet предусматривает объединение до 4096 кадров Ethernet в общий логический путь транспортной сети (рис. 3.123). Для этого каждый мультиплексируемый кадр получает свою метку пользователя (C-Tag), содержащую идентификатор локальной сети (рис. 3.124).

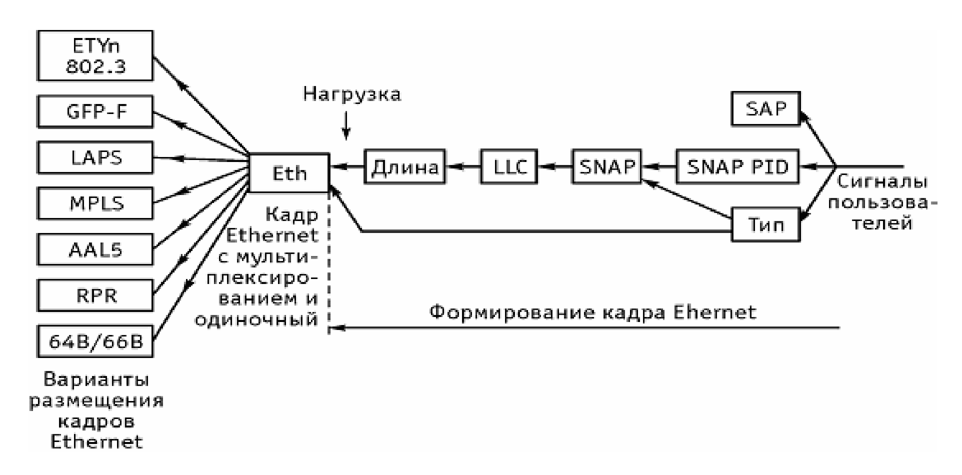


Рис. 3.122. Общая схема мультиплексирования Ethernet

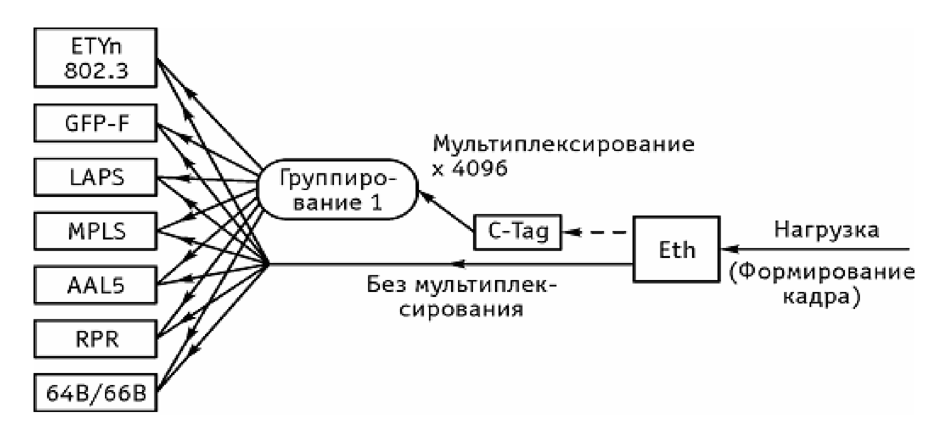


Рис. 3.123. Одноступенчатая схема мультиплексирования Ethernet

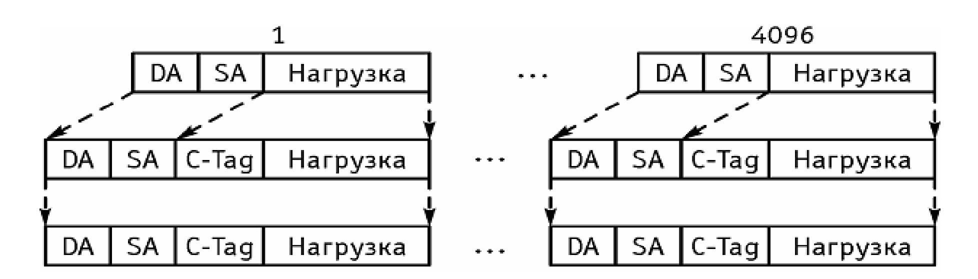


Рис. 3.124. Одноступенчатое мультиплексирование Ethernet

Двухступенчатая схема мультиплексирования предполагает возможность объединения уже мультиплексированной нагрузки на первой ступени с метками C-Tag в количестве *M*, где число *M* однозначно не регламентировано. Кадры Ethernet могут также содержать метки провайдеров услуг (S-Tag, Service provider-Tag) На рис. 3.125 и 3.126 представлено двухступенчатое мультиплексирование Ethernet.

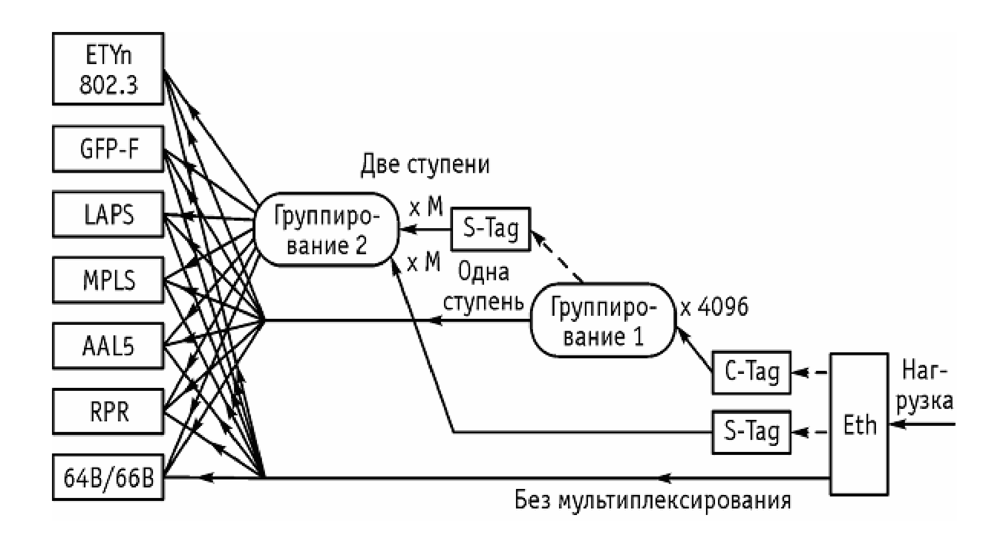


Рис. 3.125. Двухступенчатая схема мультиплексирования Ethernet

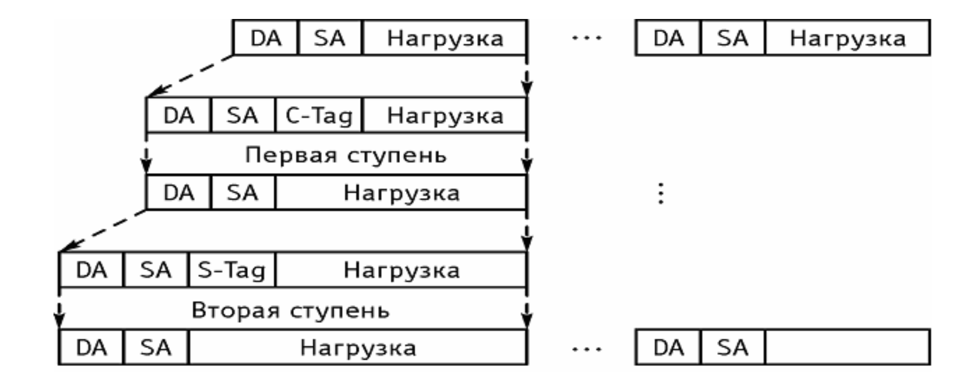


Рис. 3.126. Двухступенчатое мультиплексирование Ethernet

3.4.4. Технологическое решение для T — MPLS

Протокольное решение для транспортных сетей T-MPLS представлено интерфейсами аппаратуры мультисервисных транспортных сетей с различными физическими окончаниями и возможностями по коммутации пакетного трафика (рис. 3.127).

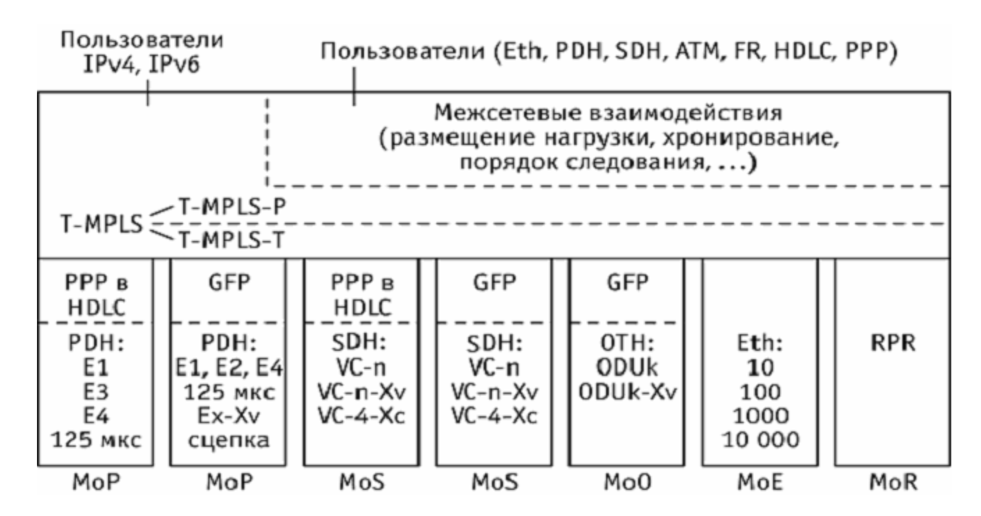


Рис. 3.127. Интерфейсы транспортного сетевого узла T-MPLS

В структуре интерфейсов имеются разделения на функции:

– T-MPLS-P — тракт с контролем из конца в конец;

– T-MPLS-T — соединение с тандемным наблюдением.

Представленные общие структуры семи разновидностей сетевых интерфейсов базируются на сочетании различных технологий транспортных сетей:

– MoE — T-MPLS over Ethernet;

– MoS — T-MPLS over SDH;

– MoO — T-MPLS over OTH;

– MoP — T-MPLS over PDH;

– MoR — T-MPLS over RPR.

Технологическая цепочка трансляции трафика в T-MPLS с образованием меток, туннелированием и размещением в кадры согласования представлена рис. 3.128, где обозначено:

– S — признак дна протокольного стека (1 бит);

– TTL — метка времени жизни (8 бит);

– Label — метка емкостью 20 бит;

– EXP — экспериментальная метка (3 бита).

Структура метки MPLS состоит из 32 битов (4 байта): 12 битов заголовок и 20 бит значение метки [64]. Заголовок метки состоит из 3-х полей: 3-битового поля EXP, которое может служить для обозначения класса обслуживания, S-бита признака «дна» стека и 8-битового поля времени жизни TTL (Time-to-Live).

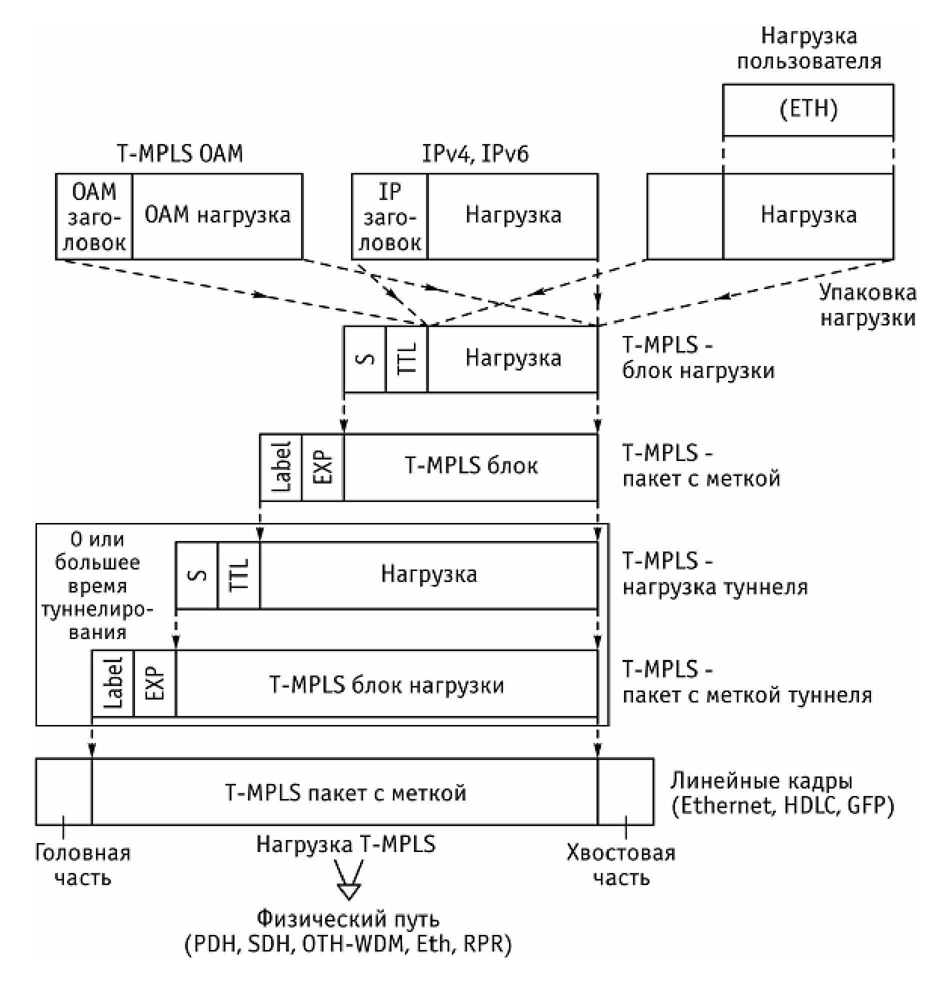


Рис. 3.128. Принцип упаковки нагрузки в транспортной сети T-MPLS

3.5. Технологические согласования транспортных сетей

Для прозрачной транспортировки различного трафика через транспортные сети разработаны, стандартизированы и используются ряд протокольных решений по эффективному размещению трафика пакетной (кадровой) передачи в циклические блоки PDH, SDH, OTH и непосредственно в среду передачи (рис. 2.3): LAPS, GFP и RPR. Ниже рассмотрены их технологические черты и применение.

3.5.1. Протокольное решение LAPS

Мультиплексор SDH с функциями портов Ethernet — явление техники нового поколения — мультисервисных сетей связи. Такие технические решения как Ethernet over

SDH стали актуальны в связи с необходимостью объединения локальных сетей и расширения спектра услуг сетей Ethernet (передача речи, видео, данных, широкополосных интерактивных услуг). Учитывая различное происхождение и функционирование сетей Ethernet и SDH, в МСЭ-Т были разработаны средства сопряжения, с одной стороны, случайных пакетов переменной емкости, а с другой, — циклической передачи VC-n, VC-m, STM-N в SDH. Таковым стал протокол LAPS (Link Access Procedure-SDH), определенный в рекомендациях МСЭ-Т X.86 как процедура доступа в линию SDH, которая предусматривает простое техническое решение для соединения отдельных локальных сетей Ethernet. Процедура LAPS является разновидностью протокола HDLC (High level Data Link Control) — высокоуровнего протокола управления каналом связи, утвержденного Международной организацией по стандартизации ISO. Также этот протокол известен по стандартам МСЭ-Т: X.25, Q.921, Q.922. Уровневое расположение LAPS для стыка Ethernet и SDH показано на рис. 3.129. Размещение данных кадра Ethernet в поле LAPS показано на рис. 3.130. Для согласования скоростей используются отдельные байты в структуре LAPS с фиксированным заполнением (0x7d, 0xdd), которые обозначены в шестнадцатиричной системе. Эти байты на приемной стороне отбрасываются при обнаружении.

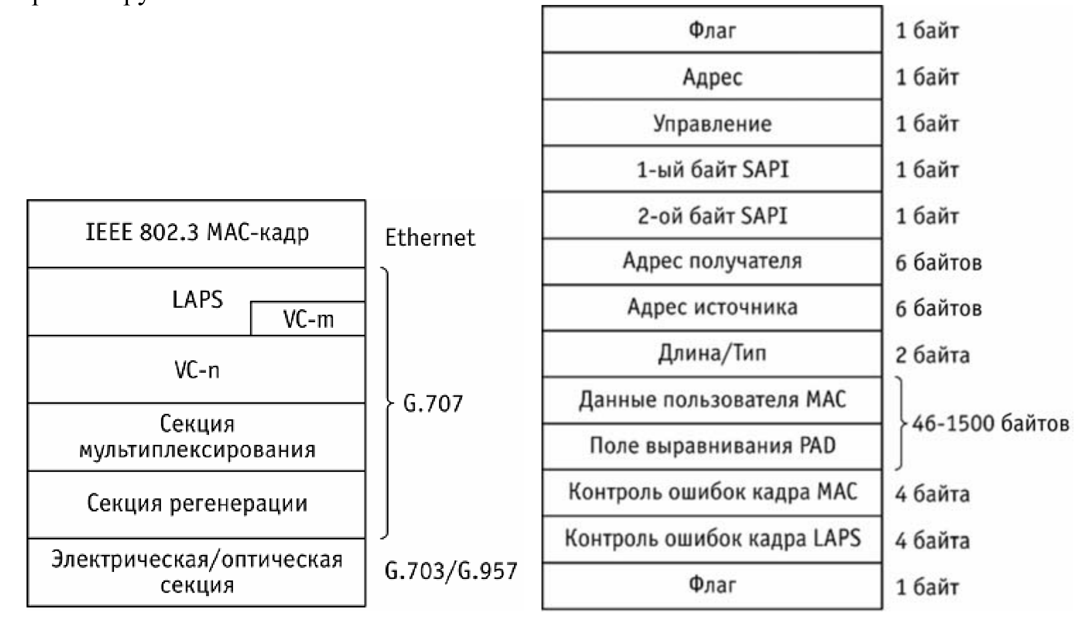


Рис. 3.129. Протокольный стык SDH-Ethernet

Рис. 3.130. Кадр LAPS с размещенными (инкапсулированными) данными кадра MAC Ethernet

3.5.2. Протокольное решение GFP

Технология GFP по определению МСЭ-Т обеспечит более эффективное использование ресурсов транспортных сетей для доставки данных нереального времени. Она находит-

ся в одном ряду с ATM, но поддерживает передачу кадров переменной емкости (рис. 3.131).



Рис. 3.131. Формат кадра GFP

Формат кадра GFP может указывать на различное назначение:
– пользовательские с передачей трафика и управления в интересах пользователя;
– управление с кадрами обслуживания и технического управления OAM (Operation, Administration, Maintenance), т.е. скрытые от пользователя функции и свободные кадры.

Кроме того, кадр GFP предусмотрен для реализации двух возможностей передачи: прозрачной GFP-T (Transparented) и с отображением кадра пользователя GFP-F (Frame mapped).

Поле заголовка кадра GFP представлено четырьмя байтами (рис. 3.132). Поле индикатора длины протокольного пользовательского блока данных PLI (PDU Length Indicator) указывает число в двоичном коде, соответствующее объему пользовательской нагрузки. Минимальная величина этого поля — 4 байта. Объем поля PLI составляет 16 битов.

Поле PLI 1 2 3 4 5 6 7 8
Поле PLI 1 2 3 4 5 6 7 8
Поле HEC 1 2 3 4 5 6 7 8
Поле HEC 1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 3.132. Форматы полей заголовка кадра GFP

Поле контроля ошибок заголовка HEC (Header Error Control) длиной 16 байтов предназначено для обнаружения и исправления одиночных ошибок и обнаружения большого числа ошибок в заголовке PLI. Для формирования поля HEC используется производящий полином

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^{5} + 1.$$

Поля пользовательской нагрузки подразделяются на три вида (рис. 3.133):
– заголовок нагрузки длиной от 4 до 64 байт;
– поле информационной нагрузки длиной от 0 до 65535 –X, где X = 4…64 байтов;
– поле завершения кадра FCS (Frame Check Sequence) длиной 4 байта и оно же поле завершения полезной нагрузки pFCS.



Рис. 3.133. Формат полей пользовательской нагрузки GFP

В заголовок нагрузки входят (рис. 3.134):
– два байта типа кадра GFP;
– два байта поля защиты от ошибок типа кадра;
– расширение поля заголовка до 60 байтов;
– два байта контроля ошибок расширения поля заголовка.



Рис. 3.134. Формат поля заголовка пользовательской нагрузки GFP

Идентификатор типа нагрузки PTI (Payload Type Identifier) определяет тип GFP пользовательских данных:
– 000 — пользовательские данные;
– 100 — управление пользователя;
– другие зарезервированы;
– PFI, Payload FCS Identifier — идентификатор наличия контрольной суммы поля полезной нагрузки.

Индикатор нагрузки FCS состоит из одного бита (PFI = 0 или PFI = 1), что соответствует наличию или отсутствию FCS.

Идентификатор расширения заголовка EXI (Extension Header Identifier) — представлен полем из четырех битов:

– 0000 — нет расширения заголовка;
– 0001 — линейный кадр;
– 0010 —кольцевой кадр;
– остальные резерв.

Идентификатор пользовательской нагрузки UPI (User Payload Identifier) представлен полем из 8 бит для определения нагрузки, конвертируемой в поле информационной нагрузки GFP:

– 0000 0000 — резерв;
– 1111 1111 — резерв;
– 0000 0001 — кадры Ethernet;
– 0000 0010 — данные соединения PPP;
– 0000 0100 — FICON;
– 0000 0101 — ESCON;
– 0000 0110 — Gbit Ethernet;
– 0000 0111 — резерв;
– 0000 1001 — DVB ASI;
– 0000 1010 — RPR;
– 0000 1011 — Fiber Channel;
– от 0000 1101 до 1110 1111 — резерв для стандартизации;
– от 1111 0000 до 1111 1110 — резерв для пользователя.

Контроль поля типа GFP tHEC (type HEC) содержит код CRC-16 для контроля ошибок и исправления ошибок отдельных битов в двух байтах (5 и 6) заголовка. Контроль ошибок поля расширения заголовка eHEC (extension HEC) содержит код CRC-16 для контроля ошибок и исправления отдельных ошибок байтов n — 1 и n.

Поле завершения пользовательской нагрузки pFCS (payload Frame Check Sequence field) состоит из четырех байтов, в которых содержится код CRC-32 защиты информации от ошибок.

Поле нагрузки GFP может быть скремблировано по алгоритму $1 + x^{43}$ в сдвиговом синхронном скремблере.

Кадры управления пользователя применяются для адаптации пользовательской нагрузки на передаче и извлечения нагрузки на приемной стороне (рис.3.135). Структура кадра управления отличается от кадров с полезной нагрузкой содержимым полей:

– поле PTI имеет двоичный код 100;
– поле PFI отражает специфику нагрузки;
– поле EXI содержит расширение специфики нагрузки;
– поле UPI может содержать информацию управления: 0000 0001 – потеря сигнала пользователя; 0000 0010 – потеря синхронизации. Необходимо отметить, что детализация полей PFI и EXI находится в стадии определения.

Обе комбинации UPI относятся к сообщению о повреждении сигнала пользователя. Первые четыре байта кадра (длина и поле контроля ошибок cHEC, core HEC) имеют нулевое заполнение также как и поле нагрузки из n-байт.

Процессы формирования кадров GFP представлены на рис. 3.136. Для индикации дефектных состояний тракта GFP используются сигналы:

– повреждения тракта TSF (Trail Signal Fail), который обнаруживается на уровне секций SDH или OTH;
– повреждения обслуживания SSF (Server Signal Failure), формируемый на уровне сборки и разборки кадра;
– повреждения сигнала пользователя CSF (Client Signal Fail), как результат образования одного из двух указанных выше сигналов.

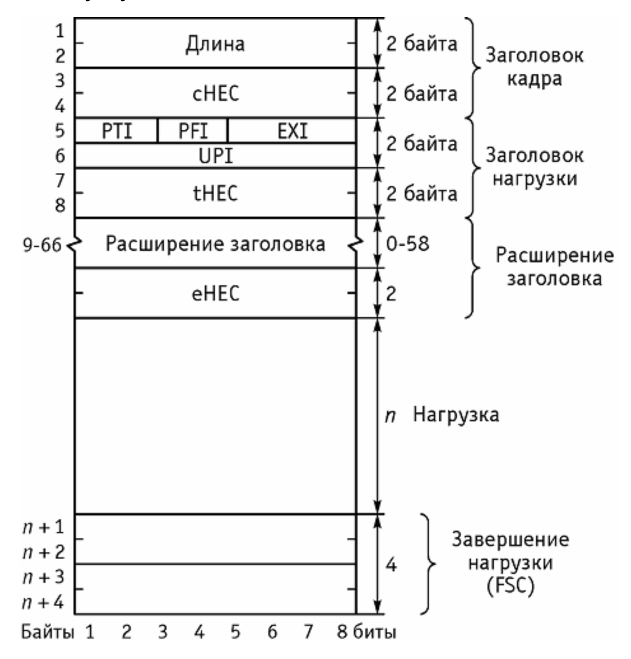


Рис. 3.135. Структура кадра управления GFP

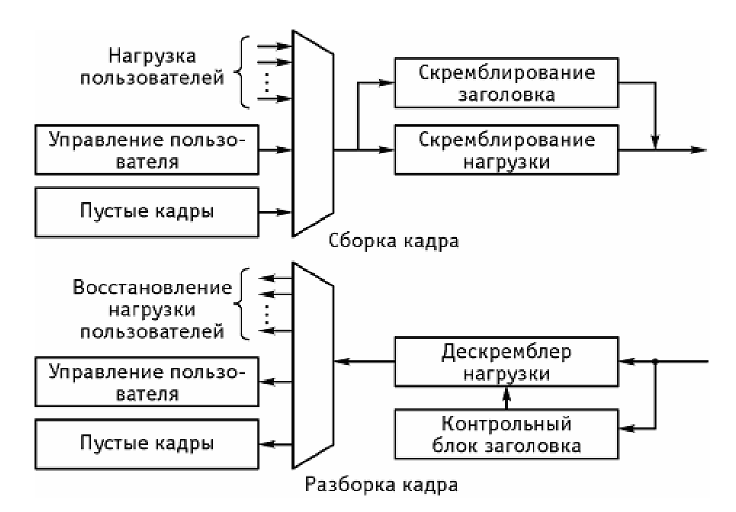


Рис. 3.136. Процедуры формирования GFP

Примеры размещения нагрузки в кадры GFP приведены на рис. 3.137, 3.138.

Число байт | Кадр Ethernet
7 Преамбула
1 Начало кадра
6 Адрес назначения
6 Адрес источника
2 Длина/тип
Пользовательские данные
Выравнивание
4 Завершение кадра

Число байт | Кадр GFP
2 PLI
2 CHEC
2 Тип
2 tHEC
0-60 GFP расширение
Нагрузка GFP

Рис. 3.137. Пример размещения нагрузки Ethernet в GFP

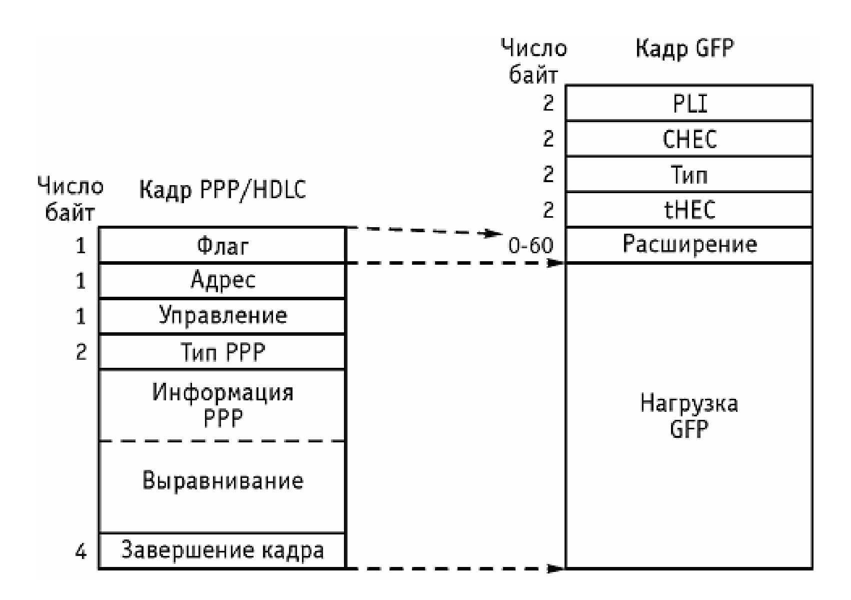


Рис. 3.138. Пример размещения нагрузки PPP/HDLC в GFP

Кадры GFP подразделяются на два типа: GFP-F, GFP-T (рис. 3.139). Кадры GFP-F применимы в большей степени к пакетам данных разного типа и разной длины. Кадры GFP-F предполагают кодирование для передачи сигналов в формате 8B10B. Примерами нагрузки GFP-F могут служить пакеты IP/PPP и кадры Gbit Ethernet.



Рис. 3.139. Отличительные признаки GFP-F и GFP-T

Кадры GFP-T загружаются данными одного пользователя с эффективным суперблоковым преобразованием, где нагрузка представлена $N\times67$-байтовыми суперблоками, где каждому 65-байтовому блоку придается код CRC-16. На рис. 3.139 приводится содержимое нагрузки кадров GFP-F и GFP-T.

Для кодирования пользовательских данных в GFP-T применяется код 64B/65B, который преобразует данные из кода 8B10B. Нагрузка представлена в битовом измерении.

3.5.3. Технология защищаемого пакетного кольца RPR

Рабочая группа IEEE 802.17 по стандартизации разработала новый стандарт для кольцевых архитектур транспортных сетей под названием RPR (Resilient Packet Ring) — защищаемое пакетное кольцо или пакетное кольцо с самовосстановлением (часто встречающиеся переводы названия технологии) или по-другому — пакетное кольцо с самовосстановлением. Этот стандарт является продолжением серии стандартов кольцевых сетей (FDDI, Token Ring и т.д.). Кроме того, исследовательская комиссия МСЭ-Т разработала Рекомендации X.87 для определения услуг использования протокола RPR в различных транспортных сетях. Целью стандарта RPR, полностью базирующегося на пакетной форме трафика, является обеспечение масштабируемости и эффективных механизмов использования полосы пропускания, присущих Ethernet, с одной стороны, и высокая надежность и полная равнодоступность, характерные для SDH, с другой. Основное преимущество RPR состоит в том, что отправленные каким-либо узлом пакеты дойдут до получателей независимо от направления обхода кольца. Все узлы кольца содержат информацию о кольцевом соединении и выполняют с данными только три операции: ввод пакета в кольцо, ретрансляцию пакета и его удаление из кольца. Такой алгоритм снижает непроизводительные расходы на обработку служебной информации по маршрутизации. Сочетание низкой стоимости и защищенности трафика делают технологическое решение RPR перспективным для построения сетей типа MAN и WAN.

Еще одно важное достоинство RPR состоит в том, что стандарт разрабатывается только для уровня управления доступом к среде передачи MAC (Media Access Control), для которого подходят любые технологии физического уровня (PDH, SDH, OTH, Ethernet и т.д.).

Кольцевая сеть RPR строится двунаправленной (рис. 3.140), в ней предусмотрена автоматическая реконфигурация за время 50 мс. При этом для реконфигурации не требуется держать в резерве 50% емкости, как в SDH. Трафик в кольце RPR передается в обоих направлениях двойного кольца. Если произойдет авария (обрыв кабеля), то весь трафик будет пущен по одному кольцу в обход места повреждения. При этом в случае переключения могут образоваться перегрузки, что влечет ухудшение качества обслуживания. Для управления сложными ситуациями в RPR предусмотрен механизм поддержки качества обслуживания QoS, который обеспечивает приоритетную транспортировку наиболее важного трафика (речь, видео в реальном времени). Уровневая протокольная структура RPR представлена на рис. 3.141.

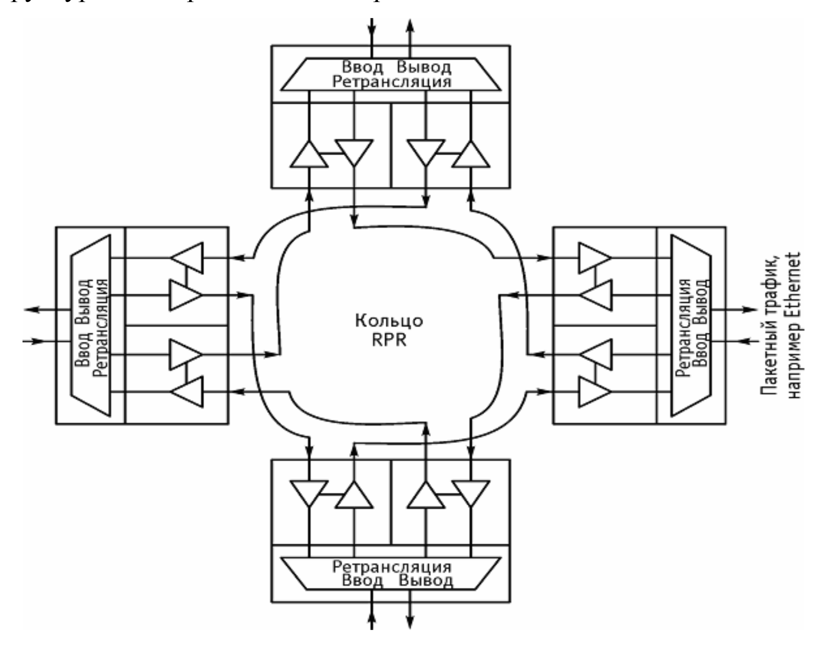


Рис. 3.140. Двунаправленное кольцо RPR

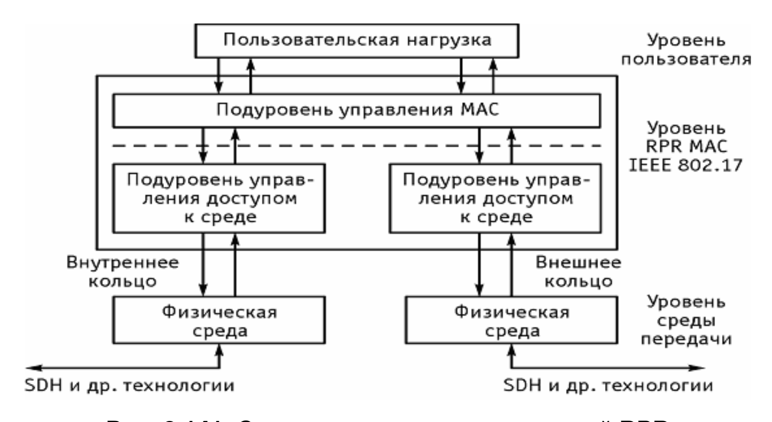


Рис. 3.141. Структура протокольных уровней RPR

Основой протокола RPR стал протокол Cisco SRP (Spatial Reuse Protocol). Этот протокол доступа к медиаресурсам приложений для кольцевого межсетевого обмена является самовосстанавливающимся. Все это реализовано на уровне RPR MAC. Подуровни управления MAC позволяют организовать передачу по внутреннему и внешнему кольцам, транзитные передачи с маршрутизацией между сетевыми элементами и выходами на пользовательский уровень. Такая структура уровня MAC RPR позволяет поддерживать четыре класса обслуживания для пользователей:

– резервный класс обслуживания без использования полосы частот для резервирования и применения для простых каналов мультиплексирования с разделением во времени;
– высокоприоритетный класс обслуживания A, гарантирующий полосу частот для приоритетного трафика, чувствительного к фазовым дрожаниям и задержкам. Это трафик звука, видео и эмуляции каналов для различных применений;
– приоритетность средняя класса B, для которого необязательно выполнение требования по резервированию среды передачи при соблюдении требований по фазовым дрожаниям и задержкам. Класс применим для передачи данных высокого качества (Ethernet);
– низкоприоритетный класс (класс C) предусматривает динамическое распределение полосы частот для обслуживания, что более всего подходит для обслуживания транспортировки в Интернете.

Интерфейс с пользовательским уровнем передает и принимает данные определенного класса услуг (рис. 3.142). Логика обработки следит за адресным пространством всех пакетов, проходящих в кольце или хранящихся в буферном устройстве транзита для других узлов. Логика обработки выполняет следующий набор функций:

– извлечение одиночных пакетов и доставку их к интерфейсу пользователя с контролем адреса станции получения;
– копирование пакетов широковещательного назначения для пользовательского интерфейса MAC, размещение их в транзитной части MAC для других узлов;
– помещение транзитных пакетов в буфер транзита вместе с их адресным пространством к адресуемому узлу;
– передачу пакетов с сообщением о полосе и управление прохождением в этой полосе.

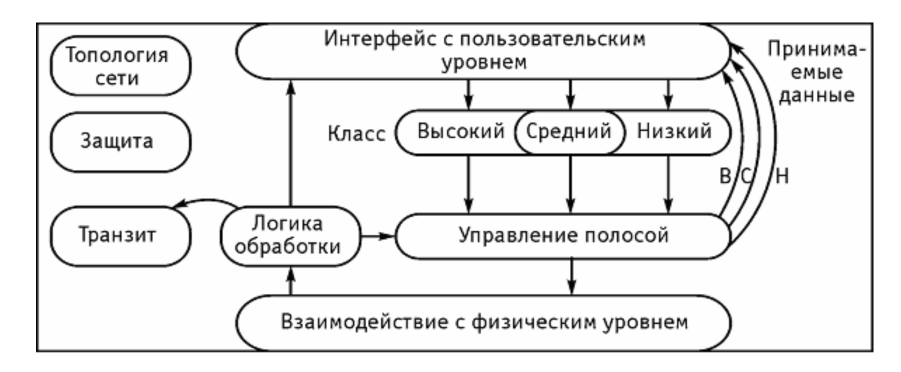


Рис. 3.142. Функциональные блоки MAC RPR

Транзитный путь в узле RPR делится на высокоприоритетные (для класса А) и низкоприоритетные (для классов В и С) буферные устройства передаваемых данных. Транзит пакетов предусматривает услуги с учетом чувствительности к задержкам.

Управление полосой предусматривает для низкоприоритетных пакетов сжатие полосы, а для соответствующих классов услуг (А, В, С) — предоставление минимальной гарантированной полосы в каждом соединении между узлами.

Защита в RPR предусматривает механизм переключения за 50 мс пакетного трафика на резервный путь. Для этого каждая станция сети RPR поддерживает функцию оценки топологии, т.е. оценки рабочих и нерабочих станций, добавление или удаление станций и т.д.

Функция топологии необходима для регулярного сбора служебными пакетами информации о структуре сети и ее ресурсах для передачи пакетов. В кольцо RPR могут быть включены до 255 станций. Топология оценивается каждый раз, когда происходит добавление или исключение отдельных станций и в случае повреждений. При инициализации системы кольца все станции посылают контрольные пакеты для определения топологии кольца. В каждом пакете после прохождения очередной станции метка уменьшается на 1. Если станция обнаруживает добавление новой станции в сети или станция обнаруживает нарушение связи, то она сразу передаёт сообщение определения топологии. Если станция получит сообщение топологии, которое не совместимо с её текущим образом топологии, она немедленно передаст новое сообщение о топологии. Таким образом, первая станция, которая заметила изменение топологии, начинает волновой процесс изменения топологии.

Функции взаимодействия с физическим уровнем предусматривают возможность передачи пакетов через кадры GFP, вводимые в циклы PDH, SDH или на физический уровень Ethernet и т.д. Кадр передачи состоит из восьми полей с различным количеством байтов (рис. 3.143).



Рис. 3.143. Общая структура кадра RPR

Назначение полей кадра RPR:

TTL, Time to Live — байтовое поле времени жизни кадра RPR;

RI, Ring Identifier — бит идентификатора кольца, инициируемого для ввода пакета;

FE, Fairness Eligible — бит индикации неправильно выбранного пакета;

FT, Frame Type — двухбитовый индикатор типа кадра RPR: данные, неправильный пакет, управление, свободный пакет;

SC, Service Class — двухбитовый индикатор класса обслуживания (A, B, C);

WE, Wrap Eligible — битовый индикатор возможной упаковки кадра RPR в узле;

P, Paritet — бит паритета, зарезервированный для буферного использования в кадрах данных;

DA, Destination Address — шесть байтов адреса назначения;

SA, Source Address — шесть байтов адреса отправки;

TTL-base — это поле используется для задания объема поля TTL первым источником данных в кольце для контроля времени прохождения;

EF, Extended Frame — бит индикации устанавливаемого формата кадра RPR;

FI, Flooding Indication — двухбитовый индикатор занятия одного или двух колец;

PS, Passed Source — бит обнаружения ошибочного состояния прохождения пакета при выделении;

SO, Strict Order — бит нарушения порядка, идентифицирующий кадр, который должен быть доставлен до места назначения;

RES, Reserved — резервные биты (3 бита);

HEC, Header Error Correction — двухбайтовое поле коррекции ошибок заголовка кадра RPR;

FCS, Frame Check Sequence — поле завершения кадра RPR (32 бита).

Поле нагрузки оптимизировано под размещение данных Ethernet.

Уровень MAC RPR предусмотрен для обработки двух типов трафика, проходящего через сетевую станцию: входящего и транзитного (на рис. 3.140 «ввод» и «ретрансляция»). Входящий трафик принимается станцией от пользователей сети и должен быть отправлен в кольцо для передачи другим станциям. Транзитный трафик — это данные, передаваемые по кольцу от предыдущей станции к последующим. Возможно использование двух режимов транзита: сокращённый, т.е. с отправкой кадра данных до его полного получения; хранение кадра данных и его последующая отправка. Для исключения бесконечного распространения пакета в кольце с адресом, который не опознаётся ни одной станцией, значение поля времени жизни TTL уменьшается всеми станциями в кольце до полного исчерпания и последующего уничтожения кадра. При получении станцией адресованного ей кадра она удаляет его из сети (на рис. 3.140 линия «вывод»). Для обработки транзитного трафика предусмотрены схемы хранения кадров с одним и двумя буферами. При использовании одного буфера приоритет обслуживания имеет транзитный трафик перед входящим. При использовании двух буферов транзитные кадры с высоким приоритетом (класс A) накапливаются в первичном буфере транзита. Кадры данных с классами обслуживания B и C накапливаются во вторичном транзитном буфере. Первичный буфер имеет приоритет при отправке кадров относительно вторичного буфера.

Протокол RPR предусматривает отправку информационных пакетов в одном направлении, а пакетов управления в другом, что гарантирует быстрое распространение управляющих сигналов для оценки пропускной способности и самовосстановления.

Контрольные вопросы

1. Какие технологии мультиплексирования разработаны для транспортных сетей?
2. Что представляет собой синхронная цифровая иерархия SDH?
3. Что входит в структуру цикла STM-N?
4. Какую ёмкость в байтах имеют секционные заголовки SOH STM-N?
5. Как можно вычислить скорость передачи STM-256?
6. Сколько ступеней мультиплексирования SDH предусмотрено для контейнера C-12 в STM-1?
7. С какой целью создаются и используются блоки TU-12, TUG-2/3, AU3/4?
8. Какое назначение имеют секционные (RSOH и MSOH) и трактовые (POH) заголовки?
9. Что используется для обнаружения ошибок передачи в трактах и секциях SDH?
10. Чем отличаются виртуальная и последовательная сцепка (конкатенация) виртуальных контейнеров высокого(VC-3, VC-4) и низкого (VC-12) порядков?
11. Запишите порядок формирования цифровых блоков от C-12 до STM-1.
12. Какой временной интервал требуется для формирования C-12, C-3 и C-4?
13. Сколько циклов STM-N требуется для переноса одного виртуального контейнера VC-12?
14. Чем отличаются заголовки секций RSOH и MSOH в STM-1, STM-4, STM-16 и STM-64?
15. Какие байты MSOH поддерживают переключение аварийной секции мультиплексирования SDH?
16. Какая служебная информация передаётся байтами S1 заголовка MSOH?
17 Какими байтами заголовков RSOH и MSOH поддерживаются каналы передачи сети управления DCCr и DCCm?
18. Какое назначение имеют байты J0, J1, J2 в заголовках RSOH, POH VC-3, POH VC-4, POH VC-12?
19. Какое назначение имеют указатели PTR в структурах TU-12, TU-3, AU-4?
20. Когда происходит изменение значения указателя PTR?
21. Какие аварийные сигналы могут формироваться в соединениях сети SDH?
22. Что включает понятие асинхронного режима передачи в технологии ATM?
23. Как устроены ячейки ATM?
24. Чем характеризуется передача информации ячейками ATM?
25. Чем отличаются классы транспортных услуг ATM?
26. Как расшифровать обозначения CBR, VBR, ABR, UBR?
27. Какие предусмотрены типы AAL?
28. Какое назначение определено стандартами для AAL-1 – AAL-5?
29. Какие транспортные функции выполняют коммутаторы ATM?
30. Чем опасны перегрузки коммутаторов ATM?
31. Как уменьшается число конфликтов ячеек в коммутаторах ATM?
32 Чем отличаются виртуальный путь и виртуальный канал в сети ATM?
33. Перечислите методы контроля коллизий и защиты от перегрузок в сети ATM?
34. Какие способы размещения ячеек ATM в циклы PDH и SDH могут применяться?
35. С какой целью создана технология OTN-OTH?
36. Какие преимущества имеет OTN-OTH перед другими транспортными технологиями?
37. Какие транспортные структуры предусмотрены в OTN-OTH?

38. Какие способы мультиплексирования предусмотрены в OTN-OTH?
39. Что общего и чем отличаются блоки STM-N и OTUk?
40. Какое значение имеет упреждающая коррекция ошибок FEC в транспортной сети OTN и SDH?
41. Что представляет собой иерархия OTH?
42. Какие скоростные режимы цифровой передачи предусмотрены в OTH?
43. Сколько оптических каналов OCh может объединить оптический транспортный модуль OTM?
44. Что обозначают индексы **n** и **m** в OTM-n.m?
45. Какой вид оптического мультиплексирования используется в OTM?
46. Чем отличаются в своих структурах цифровые блоки OPUk, ODUk, OTUk?
47. Какое назначение имеют заголовки OH OPUk, OH ODUk, OH OTUk?
48. Какое назначение имеет сервисный канал OSC?
49. Какое назначение имеют блоки ODTUG?
50. Как производится контроль ошибок передачи в оптическом канале OTH?
51. Каким образом передатчик оптического канала получит сообщение о ошибках от приёмника оптического канала?
52. В каком случае могут использоваться байты APS/PCC заголовка OH ODUk?
53. Укажите байты заголовков OTUk, ODUk, которые предназначены для цикловой и сверхцикловой синхронизации.
54. Почему технология компьютерных сетей Ethernet рассматривается как транспортная?
55. Что общего и чем отличаются пакеты Ethernet и ячейки ATM?
56. Какие интерфейсы предусмотрены в стандарте оптической сети EoT?
57. Сколько ступеней мультиплексирования может быть реализовано в оптической сети EoT?
58. Каким может быть адресное пространство MAC Ethernet?
59. Что обозначают метки C-Tag и S-Tag в кадре EoT?
60. Чем отличаются преамбула и заголовок кадра EoT?
61. Для чего разрабатывается транспортная технология T-MPLS?
62. Какие разновидности интерфейсов предусмотрены стандартом T-MPLS?
63. Какое назначение имеют протоколы технологического согласования транспортных сетей?
64. Что обеспечивает протокол LAPS?
65. Объяснить структуру кадра LAPS.
66. Какое назначение имеют кадры GFP?
67. Какая максимальная ёмкость полезной нагрузки кадра GFP?
68. Какое назначение имеют поля PLI и HEC заголовка кадра GFP?
69. Чем отличаются поля eHEC, tHEC, cHEC в заголовке кадра GFP?
70. Чем отличаются кадры GFP-T и GFP-F?
71. Какие возможности заложены в технологию RPR?
72. Сколько направлений передачи предусмотрено в сети RPR?
73. Какие классы обслуживания поддерживаются в сети RPR?
74. Какие функции предусмотрены в структуре протокольных уровней RPR?
75. Для чего нужна оценка топологии в сети RPR?
76. Чем отличается отправка информационных кадров от кадров управления в сети RPR?

Глава 4

СЕТЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Сетевые элементы транспортных сетей отличаются весьма большим разнообразием функций, интерфейсов и местами применения в составе сетевых станций и сетевых узлов. При этом под *сетевым элементом* принято понимать изделие с набором функций, которые обеспечивают взаимодействие в сети связи с другими аналогичными устройствами для организации соединений, их защиты, тестирования, управления и т.д. На рис. 4.1 представлен пример общей структуры компонентов, входящих в состав сетевого элемента.

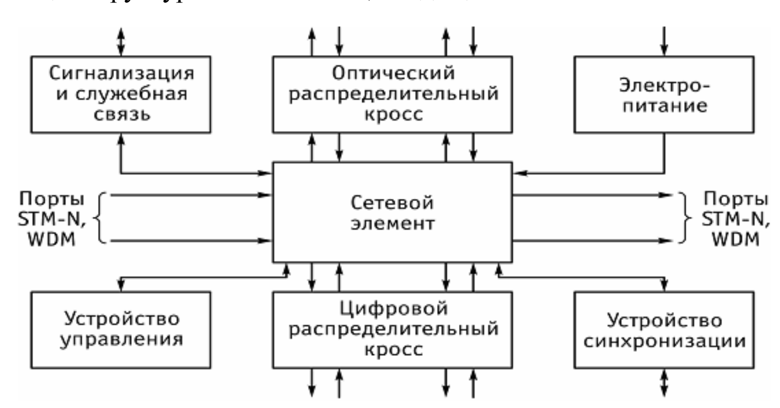


Рис. 4.1. Общая структура сетевого элемента транспортной сети

Сетевой элемент может представлять собой электронный регенератор с оптическими интерфейсами, оптический усилитель, мультиплексор ввода-вывода SDH, OTH, мультиплексор ввода-вывода многоволновых сигналов OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) и т.д. В сетевом элементе могут находиться как различные линейные окончания (порты STM-N, WDM), так и пользовательские интерфейсы с электрическим и оптическим терминированием (E1, E3, E4, STM-N, Ethernet 1000, ATM и т.д.). Для надежного и эффективного взаимодействия сетевого элемента в сети он оснащается средствами управления и синхронизации. Разумеется, сетевой элемент должен иметь еще и надежное электропитание, и служебную связь, и сигнализацию.

Ниже рассматривается ряд возможных функциональных исполнений сетевых элементов для взаимодействия в сети и с источниками/получателями информационной нагрузки. При этом каждая физическая конфигурация имеет свое программное обеспечение для поддержки выполняемых функций.

4.1. Регенератор и оптический усилитель

Линейный регенератор применяется в сети SDH для увеличения дальности передачи сигналов между узлами сети. Регенератор представляет собой мультиплексор SDH, оснащенный одним портом входа и одним портом выхода, являясь односторонним устройством передачи цифровых сигналов. В регенераторе устраняются искажения цифрового линейного сигнала, образовавшиеся из-за помех и дисперсии. Для двусторонней передачи необходимо использовать два регенератора (рис. 4.2).

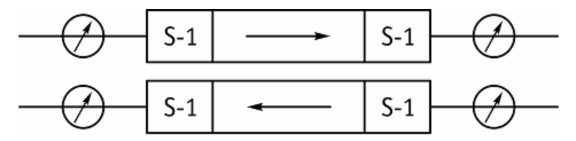


Рис. 4.2. Пример обозначения регенератора уровня STM-1 для сети SDH

В регенераторах доступны служебные сигналы заголовка RSOH (рис. 3.31) для контроля ошибок по байту B1, служебная связь через байты E1, F1, канал управления DCCr через байты D1…D3 и другие назначаемые функции.

В регенераторах уровня STM-16, STM-64, STM-256 возможно использование функций коррекции ошибок FEC, что повышает энергетический потенциал на 5…8 дБ и увеличивает дальность связи (участок регенерации). В регенераторе SDH нет доступа к байтам заголовка MSOH и полю нагрузки STM-N.

Конструктивно регенераторы могут быть выполнены в контейнерах для размещения в подземных цистернах и в виде корзин (поддонов) мультиплексоров, помещаемых в стойки, которые находятся в линейных аппаратных цехах сетевых узлов.

Регенераторы SDH могут служить источниками сигналов тактовой синхронизации в узлах сети, т.к. они транслируют сигналы SDH с высокой стабильностью тактов. Существенным недостатком регенератора SDH, как сетевого элемента, является внесение им дополнительных фазовых дрожаний импульсов линейного сигнала, что вызывает в цепочке регенераторов накопление фазовых дрожаний и повышение вероятности ошибок при регенерации сигнала.

Регенераторы SDH размещают, как правило, вблизи источников гарантированного электропитания.

Оптический усилитель — устройство увеличения мощности оптического сигнала, которое используется в технике транспортных сетей, как в составе интерфейсов, так и отдельно в качестве сетевого элемента. В отличие от регенератора оптический усилитель не имеет функции преобразования оптического сигнала в электрический, его регенерации и последующего электрооптического преобразования. Оптический усилитель может усиливать сигналы одного или двух встречных направлений. Пример упрощенной схемы эрбиевого усилителя приведен на рис. 4.3. Такой усилитель может компенсировать потери оптической мощности сигнала λ_c до 30…50 дБ при использовании сигнала накачки усилителя λ_o.

Как правило, в составе сетевого элемента оптический усилитель имеет распределенную конструкцию и средства включения в сеть управления для оперативного контроля параметров и оценки работоспособности (рис. 4.4).

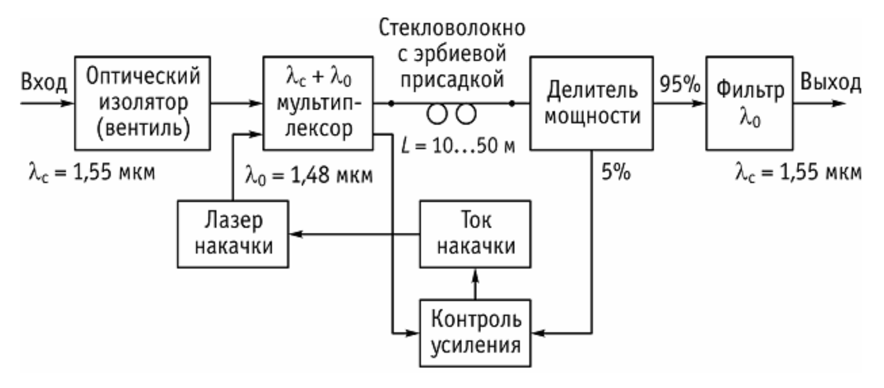


Рис. 4.3. Пример схемы эрбиевого оптического усилителя

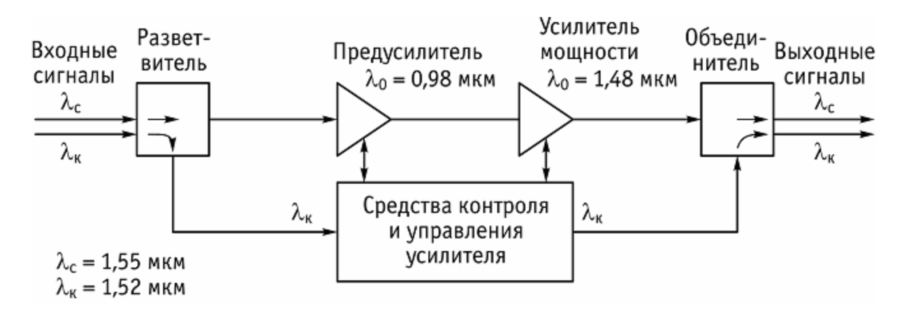


Рис. 4.4. Упрощенная схема сетевого элемента с оптическими усилителями

Оптический усилитель как сетевой элемент обязательно снабжается средствами контроля и управления. В приведенном примере для этого используется отдельная оптическая волна $\lambda_к$, которая переносит информацию управления и контроля.

Если оптический усилитель дополнить компенсатором дисперсии, то будут устранены искажения оптических импульсов и увеличена их мощность, что, в свою очередь, увеличивает длину участка секции регенерации в несколько раз и не вносит дополнительных фазовых дрожаний.

Применение оптического предусилителя в составе сетевого оптического усилителя обусловлено необходимостью иметь наименьшие шумы оптического усиления, которые накладываются на информационный сигнал λ_c.

В эрбиевом усилителе минимальные шумы достигаются на волне накачки 980 нм, а максимальное усиление на волне накачки — 1480 нм. Оптические усилители как сетевые элементы выполняются для установки в контейнеры необслуживаемых станций и в виде блоков для размещения в корзины станционного оборудования на стойках. На схемах организации связи оптические усилители имеют обозначение как показано на рис. 4.5.

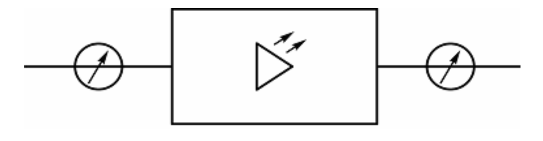


Рис. 4.5. Пример изображения оптического усилителя в качестве сетевого элемента

Помимо эрбиевых оптических усилителей на протяженных магистралях применяют

рамановские волоконные усилители, которые обеспечивают наименьшие шумы при распределённом усилении [4, 10, 59].

4.2. Терминальные мультиплексоры

Терминальные мультиплексоры в транспортных сетях отличаются большим разнообразием функций. Они совмещают реализации различных транспортных технологий: SDH, ATM, OTH-OTN, Ethernet, T-MPLS и др.

4.2.1. Терминальный мультиплексор с функциями портов PDH

Терминальный мультиплексор с функциями портов PDH — это один из первых видов мультиплексоров технологии SDH. Сетевой элемент этого вида имеет полную или частичную реализацию функций мультиплексирования. Как правило, полностью функции мультиплексирования PDH/SDH предусматривают схемы:

а) E1 → C-12 → VC-12 → TU-12 → TUG-2 → TUG-3 → C-4 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-N;

б) E3 → C-3 → VC-3 → TU-3 → TUG-3 → C-4 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-N;

в) E4 → C-4 → VC-4 → AU-4 → AUG → STM-N.

Упрощенные функции мультиплексирования предусматривают одну из цепочек мультиплексирования. Полные функции мультиплексирования реализуются в корзине универсального типа. Упрощенные функции исполняют «мини»- или «микро»-мультиплексоры.

Терминальный мультиплексор объединяет на передаче и разделяет на приеме цифровые потоки плезиохронной иерархии: E1, E3, E4. При этом их число зависит от возможности агрегатного порта STM-N. Например, в STM-1 могут быть введены до 63 E1 или 3 E3, или 1 E4. В свою очередь агрегатный порт STM-N может быть выполнен с защитой на 100 % (два агрегата: рабочий и резервный) с гарантированным 50-миллисекундным защитным переключением STM-N с рабочего на резервный. При этом к мультиплексору подводятся четыре волоконных линии (два рабочих волокна и два волокна резервные).

При комплектовании мультиплексора кросс-коммутационными матрицами он может служить узлом локальной кроссовой коммутации потоков PDH, например, потоков E1 в интересах местных операторов связи. Кроме того, мультиплексор терминального типа оснащается средствами управления через интерфейсы F или Q, средствами служебной связи и сигнализации.

Через терминальный мультиплексор возможна внешняя синхронизация сети SDH. Для этого могут активироваться порты: T3 — для ввода через отдельную линию от первичного (ПЭГ) или вторичного задающего генератора (ВЗГ) синхросигнала; пользовательские порты E1 — для трансляции синхросигнала в составе информационного потока от электронного коммутационного узла, например электронной автоматической междугородней телефонной станции (ЭАМТС). Также необходимо отметить, что порты E1 могут служить в качестве узлов ресинхронизации, т.е. средства устранения фазовых дрожаний потоков E1.

Примеры обозначений терминальных мультиплексоров с портами PDH приведены на рис. 4.6, где а) сетевой элемент SDH — терминальный мультиплексор на 63 тракта E1 (потоки 2,048 Мбит/с), с агрегатным портом (линейным двухволоконным интерфейсом) STM-1 (обозначено S1); б) сетевой элемент SDH — терминальный мультиплексор на 126 трактов E1 и 6 трактов E3 (потоки 34,368 Мбит/с), с агрегатным портом (линейным двухволоконным интерфейсом) STM-4 (обозначено S4); в) сетевой элемент SDH — терминальный мультиплексор на 252 тракта E1 и 12 трактов STM-1 (обозначено S1, потоки на скорости 155,520 Мбит/с) с кроссовой коммутацией на уровне виртуальных контейнеров VC-12 (трактов низкого порядка LP, обозначено #), с резервированием линейных интерфейсов STM-16 по схемам 1+1 или 1:1

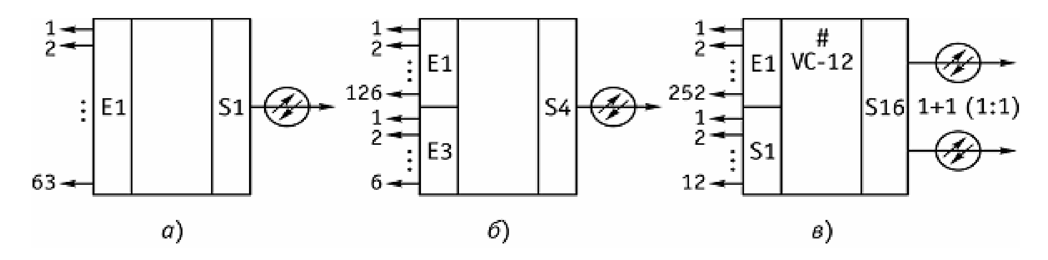


Рис. 4.6. Примеры условных обозначений терминальных мультиплексоров SDH

4.2.2. Терминальный мультиплексор с функциями портов Ethernet

Мультиплексор SDH с функциями портов Ethernet явление техники нового поколения — мультисервисных сетей связи.

Применение процедуры GFP-F позволяет гибко согласовывать передачу данных Ethernet 100, Ethernet 1000 с циклами SDH, представленными виртуальными контейнерами VC-X-Xv, например, 1 Гбит/с Ethernet в GFP-F и VC-4-7v, т.е. передачу в виртуально сцепленные семь контейнеров VC-4. При этом может быть поддержана функция регулировки емкости канала LCAS.

Интерфейсы Ethernet в составе аппаратуры SDH выполняются одиночными и групповыми (по 4, 8, 12 окончаний). Групповые подключения часто реализуют и функции коммутатора пакетов Ethernet. Это позволяет поддерживать соединения типа точка-точка и пакетное кольцо с общим доступом. Кроме того, интерфейсы Ethernet могут поддерживать функции маршрутизаторов пакетов IP с определенными показателями качества. Пример размещения интерфейсов Ethernet в оборудовании SDH приведен на рис. 4.7.

Таким образом, терминальный мультиплексор SDH, оснащенный портами Ethernet, можно считать сетевым элементом мультисервисной транспортной сети. Обозначение этого типа сетевого элемента приведено на рис. 4.8.

Необходимо также отметить, что для размещения данных Ethernet в сети SDH МСЭ-Т предусмотрел вариант стыка с формированием блока 64B/66B, в котором к кадру Ethernet присоединяются блоки сопровождения, и этот кадр кодируется блочно 64B/66B с последующей вставкой на скорости 10 Гбит/с в STM-64. Это решение предусмотрено для Ethernet 10 Гбит/с.

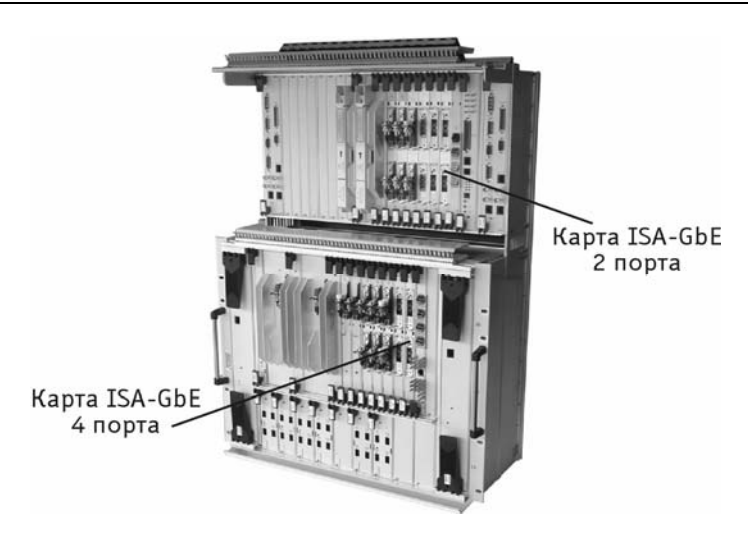


Рис. 4.7. Мультиплексор Alcatel 1670SM и карты ISA-GbEthernet

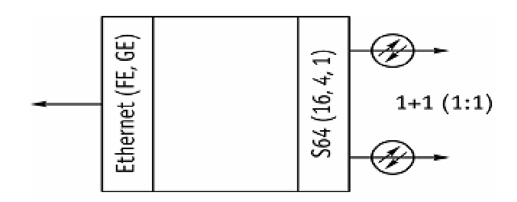


Рис. 4.8. Пример обозначения мультиплексора с функциями сети Ethernet

4.2.3. Терминальный мультиплексор с функциями портов ATM

Для поддержки функций мультисервисных пакетных сетей на основе режима асинхронной передачи ATM в составе мультиплексоров SDH возможно применение модулей интегрированных сервис-адаптеров для создания и поддержки виртуальных путей и каналов ATM. В состав модулей входят: адаптеры на несколько портов ATM, например, 16 портов, 32 порта; ATM-кросс-матрица для поддержки виртуальных соединений, например, 8192 VP/VC-соединений; средства поддержки определенного качества услуг с постоянной, переменной и неспецифицированной скоростью передачи информационных данных. Через порты могут вводиться/выводиться данные на скоростях от 2 Мбит/с до 622 Мбит/с согласно рекомендации I.432 МСЭ-Т. В циклах SDH данные ATM в виде ячеек по 53 байта размещаются одна за одной в VC-12, VC-3, VC-4. При этом для сети ATM поддерживается любая конфигурация (точка-точка, звезда, кольцо).

Пример обозначения сетевого элемента SDH с функциями портов и коммутаторов ATM приведен на рис. 4.9.

Необходимо отметить, что интерфейсы SDH (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64) чаще выполняются в коммутаторах ATM для мультисервисных сетей. Вариант размещения интерфейсов ATM в составе сетевого элемента SDH применяется для доступа и концентрации потока нагрузки в виде ячеек ATM.

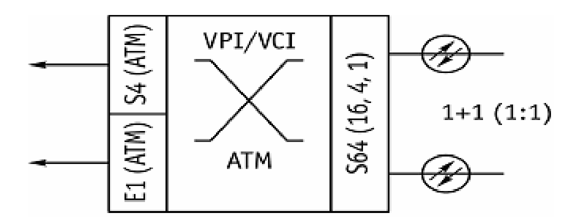


Рис. 4.9. Пример обозначения сетевого элемента SDH с функциями ATM

4.2.4. Терминальный мультиплексор с функциями портов OTH

Для сопряжения транспортных сетей SDH и OTN-OTH в мультиплексорах предусматриваются возможности по согласованной передаче циклов OTH (ODU1 и ODU2) через циклы сцепляемых виртуальных контейнеров VC-4-Xv. Так для переноса блоков данных оптического канала ODU1 требуется сцепленный виртуальный контейнер VC-4-17v. Для переноса блока данных оптического канала ODU2 требуется сцепленный виртуальный контейнер VC-4-68v. То есть, взаимодействие сетей OTH и SDH возможно только на уровне STM-64. Схема обозначения этого взаимодействия приведена на рис. 4.10.

Другой вариант взаимодействия в сетевом элементе предусматривает сочетание функций OTH-SDH в ином порядке, т.е. размещение STM-N ($N = 16, 64, 256$) в структуре OTH (OPUk, ODUk, OTUk, OTMn.m). При этом возможна реализация функций защиты всего многоволнового сигнала, состоящего из модулей OTMn.m ($n < 16$, $m = 1; 2; 3$ (1,2; 1,3; 2,3; 1,2,3)), защиты каждого отдельного оптического канала с нагрузкой OTUk ($k = 1, 2, 3$), с соединением сети SDH через коммутатор волновых каналов OCh или через коммутатор блоков ODUk.

Пример обозначения сетевого элемента этого типа приведен на рис. 4.11. В этом примере указаны возможности по мультиплексированию λ_i, где $i < n$, $n = 1\ldots16$. Линейный порт с числом волновых каналов до 16λ может иметь 100-процентную защиту линии.

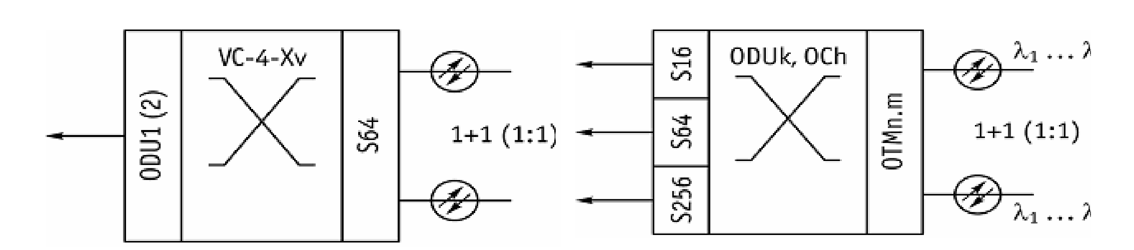


Рис. 4.10. Пример обозначения сетевого элемента SDH, сопрягаемого с сетью OTH

Рис. 4.11. Пример обозначения сетевого элемента OTN-OTH с функциями интерфейсов нагрузки SDH

4.2.5. Терминальный мультиплексор с функциями портов ASON

Терминальный мультиплексор SDH, оснащенный функциями виртуальной сцепки VC-4-Xv, VC-12-Xv; регулировки емкости каналов LCAS, кроссовой коммутации DXC (VC-12, VC-4), защитными функциями линии 1+1 (1:1), может быть включен в автоматически коммутируемую транспортную сеть ASON (Automatic Switched Optical Network) (см. 5.5). Для этого сетевой элемент должен быть оснащен опциями включения в сеть сигнализации на основе протокола GMPLS и в сеть управления для администрирования. В таком случае ресурсы сетевого элемента становятся объектами управления в сети. Пример обозначения сетевого элемента с функциями портов ASON приведен на рис. 4.12. Детальное определение сети ASON приведено в главе 5.

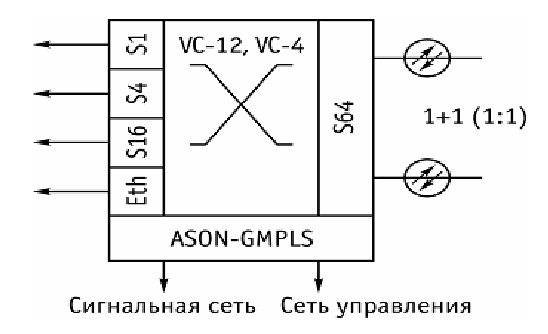


Рис. 4.12. Пример обозначения сетевого элемента с функциями портов ASON

Мультиплексоры этого вида в составе сетевого элемента могут служить средством группирования нагрузки транспортной сети и ее защиты при аномальных состояниях линий и соединений.

4.2.6. Терминальный мультиплексор с линейными портами WDM

В составе аппаратуры SDH последнего поколения появились мультиплексоры волновых каналов WDM-стандартов плотного мультиплексирования DWDM и разреженного мультиплексирования CWDM. Мультиплексирование/демультиплексирование оптического сигнала выполняется одновременно для 1, 2, 4 или 32 каналов с выделением каждого канала или групп каналов. При этом поддерживаются функции оптического усиления, компенсации дисперсии, упреждающей коррекции ошибок FEC. Схема терминального мультиплексора с линейными портами WDM представлена на рис. 4.13.

В этой схеме транспондерные устройства преобразуют сигналы STM-N ($N = 16$) в оптические сигналы на фиксированных оптических несущих волнах $\lambda_1 \ldots \lambda_n$. При этом транспондеры поддерживают один из режимов трансляции электрических сигналов: 1R, 2R, 3R. В режиме 1R сигнал усиливается. В режиме 2R входной сигнал регенерируется и усиливается, но не производится восстановление синхронизации. В режиме 3R транспондеры обеспечивают регенерацию, усиление и восстановление входного сигнала (см. рис. 2.3).

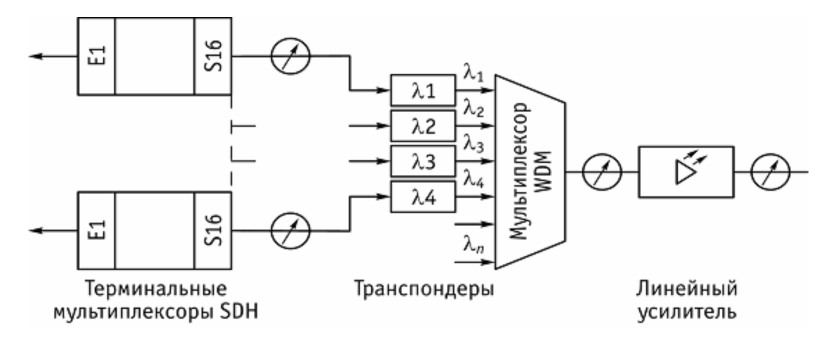


Рис. 4.13. Схема терминального мультиплексора с линейным портом WDM

В расширенном режиме 3R + транспондеры вставляют трафик пользователя STM-N в циклы OTH с интегрированной упреждающей коррекцией ошибок сигналов. Этот режим позволяет существенно увеличить дальность и качество передачи. Кроме того, терминальный мультиплексор SDH может оснащаться «цветным» интерфейсом для работы в режиме WDM. В этом случае группа мультиплексоров SDH создает спектр отдельных рабочих волн, которые объединяются и разделяются оптическим мультиплексором без транспондеров. В структурах циклов SDH при этом возможна активация функций упреждающей коррекции ошибок FEC. Схема этого типа терминала с функциями WDM представлена на рис. 4.14.

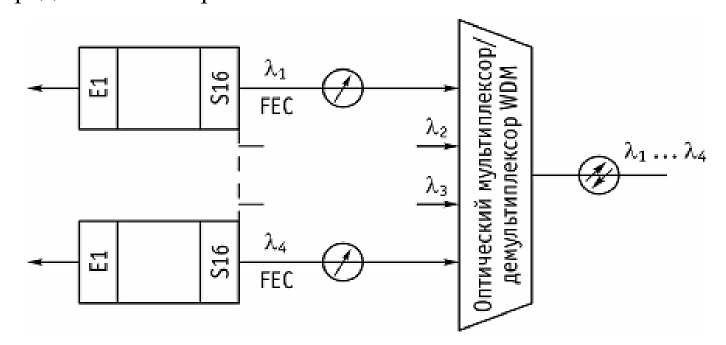


Рис. 4.14. Схема терминального мультиплексора с линейным портом WDM и «цветными» интерфейсами

Второй вариант терминального мультиплексора с линейными портами WDM может оказаться дешевле, что делает возможным его использование на местных (городских) и внутризоновых сетях.

4.3. Мультиплексоры вывода/ввода с электрическими и оптическими окончаниями ADM

Мультиплексоры вывода/ввода ADM (Add-Drop — Add-Drop Multiplexer) — наиболее распространенный вид оборудования для построения сетевых элементов транспортных сетей. Возможности вывода/ввода создают предпосылки для построения различных ар-

хитектур транспортных сетей. При этом ключевыми составляющими сетевых элементов являются: возможность кроссовых коммутаторов, линейные (агрегатные) интерфейсы, защитные функции секций и трактов (соединений в сети), пользовательские интерфейсы, синхронизация и управление.

Необходимо отметить, что терминальные мультиплексоры во многом являются частными реализациями мультиплексоров вывода/ввода ADM.

Возможности матриц электрической кроссовой коммутации ADM позволяют обеспечить доступ к отдельным компонентным потокам высокого или низкого порядков (VC-4, VC-12) или ко всем компонентным потокам. Вывод одного или нескольких компонентных потоков с последующим терминированием на интерфейсе пользователя (например, E1, Ethernet100) может сопровождаться запретом на ввод компонентного потока для использования временных ресурсов цикла STM-N в продолжение передачи.

Линейные (агрегатные) интерфейсы имеют ограниченные возможности по дальности и скорости передачи, защитным переключениям, коррекции ошибок. Защитные функции секций и трактов могут быть активированы самостоятельно. Эти функции гарантируют живучесть различных конфигураций сетей связи.

Пользовательские интерфейсы комплектуются для ADM под конкретные проекты. В том числе для сетей с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов. Их возможности аналогичны тем, что рассмотрены для терминальных мультиплексоров. При этом интерфейсы имеют электрические и оптические окончания.

Управление в ADM тесно связано с управлением группы ADM в сети. На рис. 4.15 представлен пример обозначения ADM.

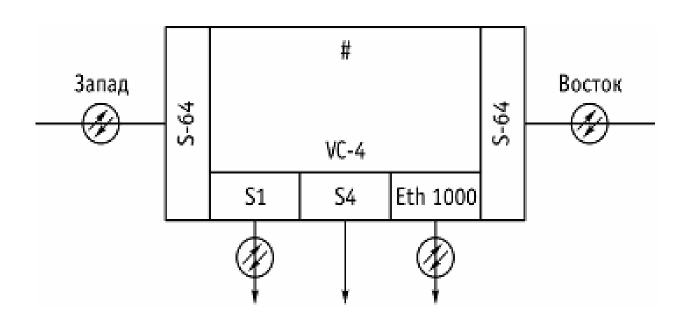


Рис. 4.15. Пример обозначения ADM уровня STM-64

Мультиплексор ADM имеет обозначение линейных интерфейсов как западного и восточного. Пользовательские (компонентные) интерфейсы имеют оптические (S4, Eth 1000) и электрические (S1) окончания. Мультиплексор может включаться в линейные и кольцевые сети. При этом полный комплект агрегатов может обеспечить защиту секций мультиплексирования с запада и востока (рис. 4.16).

Ресурсная емкость мультиплексора ADM определяется возможностями агрегатных интерфейсов. Например, если ADM имеет два линейных интерфейса STM-16, то эквивалентное число максимально доступных интерфейсов пользователя уровня E1 составит 2016. В сравнении с терминальным мультиплексором в два раза больше.

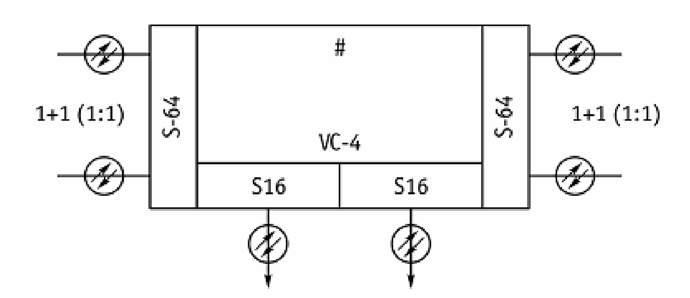


Рис. 4.16. Пример мультиплексора ADM с защитой линейных интерфейсов

Мультиплексоры ADM аналогично мультиплексорам TM включаются в сети ASON и в сети с многоволновой передачей WDM. Пример схемы включения ADM и OADM приведен на рис. 4.17. В этой схеме формируется доступ к отдельным оптическим каналам (на волнах λ_1, λ_2) с терминированием части информационных потоков в мультиплексоре ADM (E1, E3).

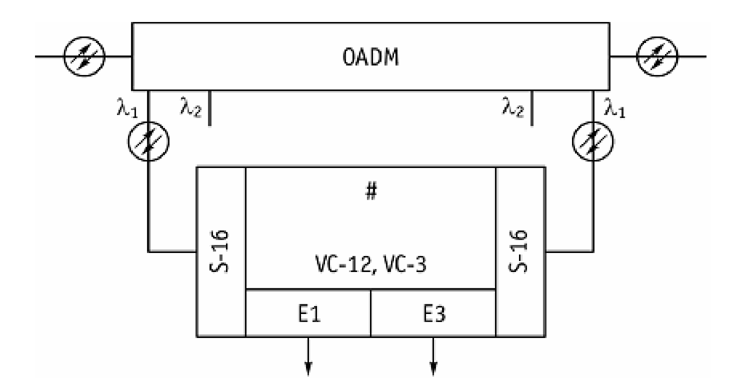


Рис. 4.17. Пример включения мультиплексора ADM и оптического мультиплексора OADM

4.4. Цифровой кроссовый коммутатор SDXC

Цифровой кроссовый коммутатор в транспортной сети выполняет функции узлового сетевого элемента. Цифровые кроссовые коммутаторы отличаются уровнями линейных интерфейсов (STM-N, $N = 1, 4, 16, 64, 256$), типами коммутационных матриц, уровнями коммутируемых соединений (VC-12, VC-3/4), эквивалентной емкостью в количестве STM-1, местом применения (локальная или магистральная сеть), поддержкой функций резервирования.

Синхронные цифровые кроссовые коммутаторы обозначают SDXC (Synchronous Digital Cross-Connect). SDXC поддерживают следующие узловые функции:

– маршрутизацию VCn/m, в том числе VC-n-Xv, VC-m-Xv, VC-n-Xc;
– трансляцию VCn/m от одной точки к многим точкам (вещание);
– доступ к любым VCn/m для тестирования;

– группирование VCn/m;
– сортировку и перегруппировку VCn/m;
– ввод/вывод VCn/m;
– защиту соединений VC-n, VC-m, VC-n/m-Xv,c.

Необходимо отметить, что реализация ADM является частным случаем SDXC. В обозначение кроссового коммутатора заложена информация о функциональных возможностях по коммутации, например, LXC-64/4/1 — локальный кроссовый коммутатор уровня STM-64 и установлением соединений на уровнях VC-4 и VC-12. Пример обозначения цифрового кроссового коммутатора приведен на рис. 4.18. Обозначение показывает, что операции кроссирования в узле для VC-12, VC-3, VC-4 выполняются с согласованием фаз в транспортных (TU-12, 3) и административных блоках (AU-4).

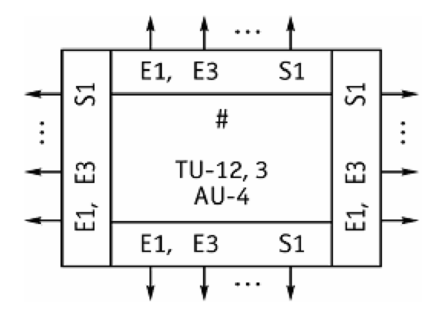


Рис. 4.18. Пример обозначения кроссового коммутатора SDH

Эквивалентным размером кроссового коммутатора является число интерфейсов STM-1, например, 32STM-1, 128STM-1, 256STM-1, 1024STM-1, 2048STM-1 и т.д. Кроссовые коммутаторы аналогично ADM имеют развитые функции синхронизации и управления. Кроссовый коммутатор также может включаться в сеть ASON.

4.5. Оптический сетевой элемент с функциями OADM/ROADM/OXC

Составной частью современных сетевых элементов становятся оптические узлы многоволновой передачи. Одним из важнейших узлов, который относится к разряду ключевых в оптических транспортных сетях, принято считать оптический мультиплексор выделения/ввода OADM. С его помощью в многоволновой сети возможен доступ к отдельным волновым каналам. Реализация этого возможна на основе волоконных брэгговских решеток, настроенных на фиксированные волны, решетки на волноводном массиве типа AWG (Arrayed-Waveguide Grating) и т.д. На рис. 4.19 представлена упрощенная схема OADM на фиксированные волны. Упрощение связано с обозначением только одного направления передачи (слева направо). С помощью управляемых оптических ключей возможен доступ к отдельным волнам (в примере это 4 волны). Ключи

могут иметь электромеханическое (микрозеркала) или электрооптическое управление коммутацией. Управляемые аттенюаторы позволяют выравнивать уровень мощности оптических каналов. С помощью разветвителей и фотодетекторов создана возможность контроля мощности каждого канала.

В приведенном примере OADM показано: разделение волн $\lambda_1 \ldots \lambda_4$ в демультиплексоре; вывод волн λ_1 и λ_4 и введение на их место λ_1^* и λ_4^* с другим трафиком; ответвление части мощности λ_3 (функция «вещания») и пропуск без доступа волны λ_2. Этот пример отражает схему без перестройки OADM. Для повышения гибкости сетевого элемента в оптической сети необходимо иметь возможность селекции волн с перестройкой, группирование волн, изменение длины волны передачи и т.д.

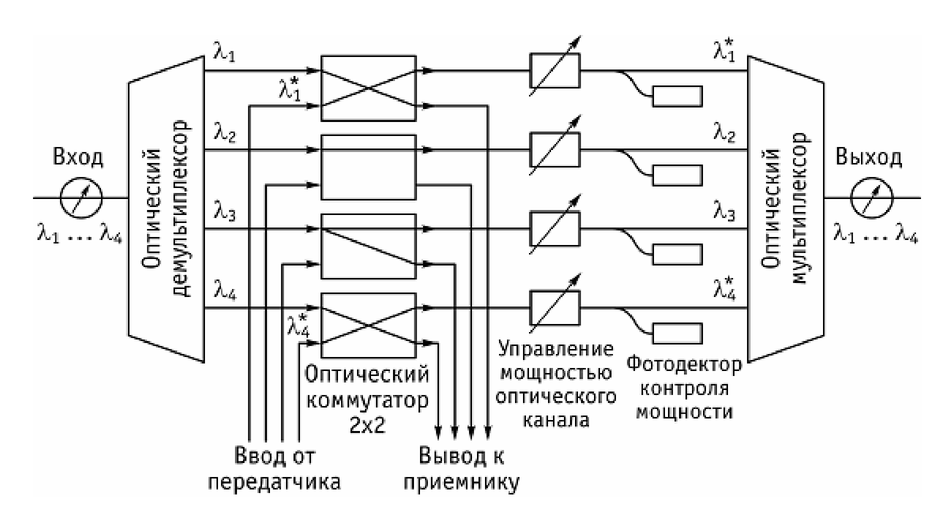


Рис. 4.19. Упрощенная схема OADM

Указанные функции в настоящее время поддерживают перестраиваемые ROADM-мультиплексоры (Reconfigurate OADM). Преимущества ROADM состоят в возможностях ввода/вывода с удаленным контролем, добавлении и пропускании волн без преобразования и с преобразованием оптического сигнала в электрический. В зависимости от технологии частотного фильтрования и функций коммутации ROADM разделяют на:

– дискретные ROADM;
– частотные изоляторы;
– частотные изоляторы с встроенными планарными оптическими волноводами;
– частотно-селективные с коммутацией и преобразованием волн.

Пример построения последнего приведен на рис. 4.20.

Первые виды ROADM базировались в своих конструкциях на дискретных оптомеханических коммутаторах, фильтрах и регулируемых аттенюаторах типа VOA (Variable Optical Attenuators). Это приводило к существенным потерям мощности в схемах, сложным настройкам и высокой стоимости изделий.

Интеграция оптических компонентов в структуры частотно-селективных переключателей WSS (Wavelength Selective Switch) позволили объединить в WSS ROADM четыре функции, которые раньше выполнялись отдельно:

– гибкий процесс ввода-вывода при использовании любых «бесцветных» портов (см. рис. 4.20. λ_x);
– динамический контроль входной мощности;
– динамическое выравнивание мощности;
– непрерывный мониторинг всех оптических каналов.

По сравнению с известными мультиплексорами OADM мультиплексоры WSS ROADM в три раза компактнее, в четыре раза дешевле и вносят в три раза меньше потерь оптической мощности. Кроме выполнения функций WSS ROADM включает:

– перестраиваемые лазеры;
– оптические усилители с перестраиваемым коэффициентом усиления и контролируемым переходным процессом;
– полностью автоматизированное управление через протокол GMPLS;
– «бесцветные» порты.

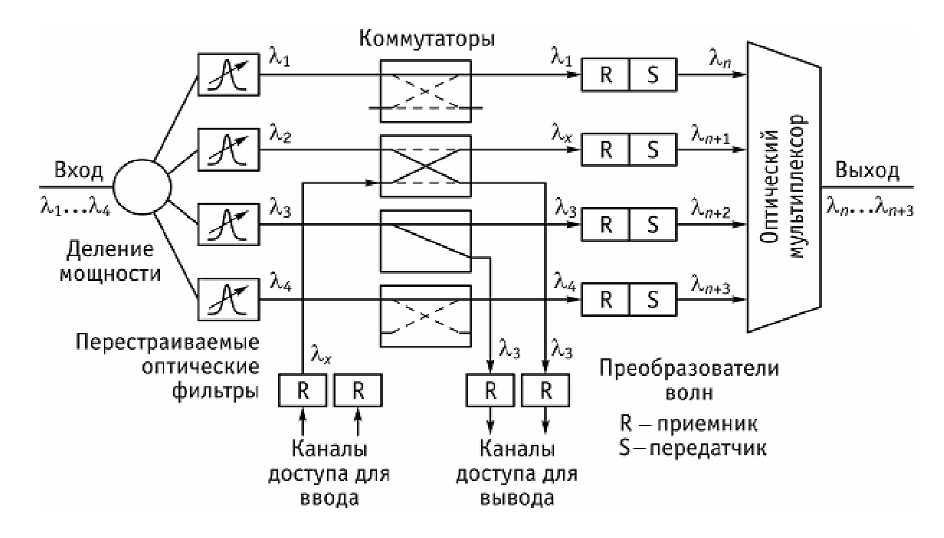


Рис. 4.20. Архитектура ROADM с перестраиваемыми фильтрами

Более сложную архитектуру имеют узлы выделения и ввода оптических транспортных модулей OTM с доступом к волновым каналам OCh. В них используются оптические усилители модулей, мультиплексоры и демультиплексоры двух ступеней OTMp.m и OCGi.1 (рис. 4.21). При полномасштабной реализации узлов с оптической кроссовой коммутацией к структуре узла добавляются соответствующие коммутирующие матрицы оптических модулей и оптических каналов OXC (Optical xCross Connect – оптическая кроссовая коммутация) (рис. 4.22). Оптические каналы начинаются и заканчиваются транспондерными блоками. Каналы пользователей имеют электрические и оптические подключения.

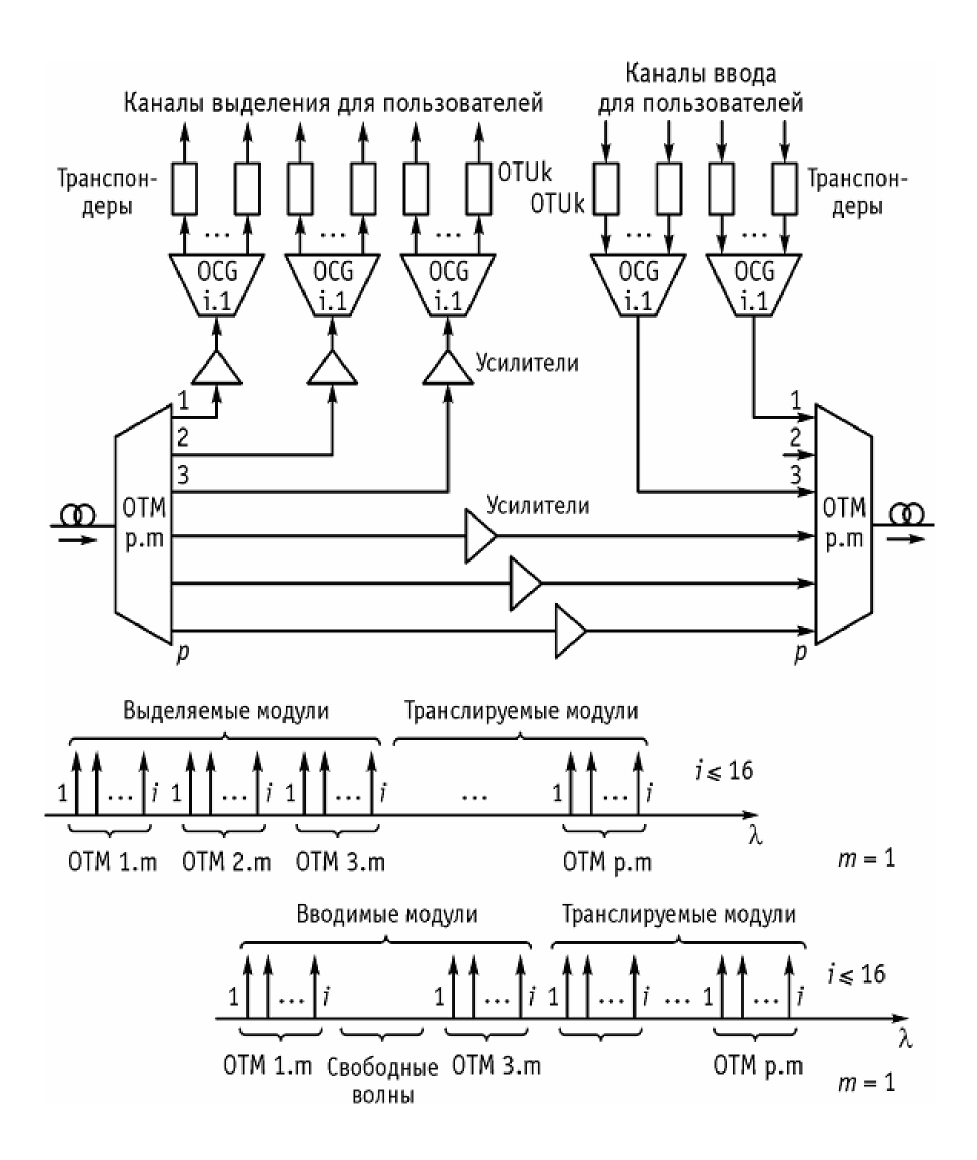


Рис. 4.21. Структура мультиплексора OTH/OTN выделения-ввода с доступом к отдельным OTM и OCh

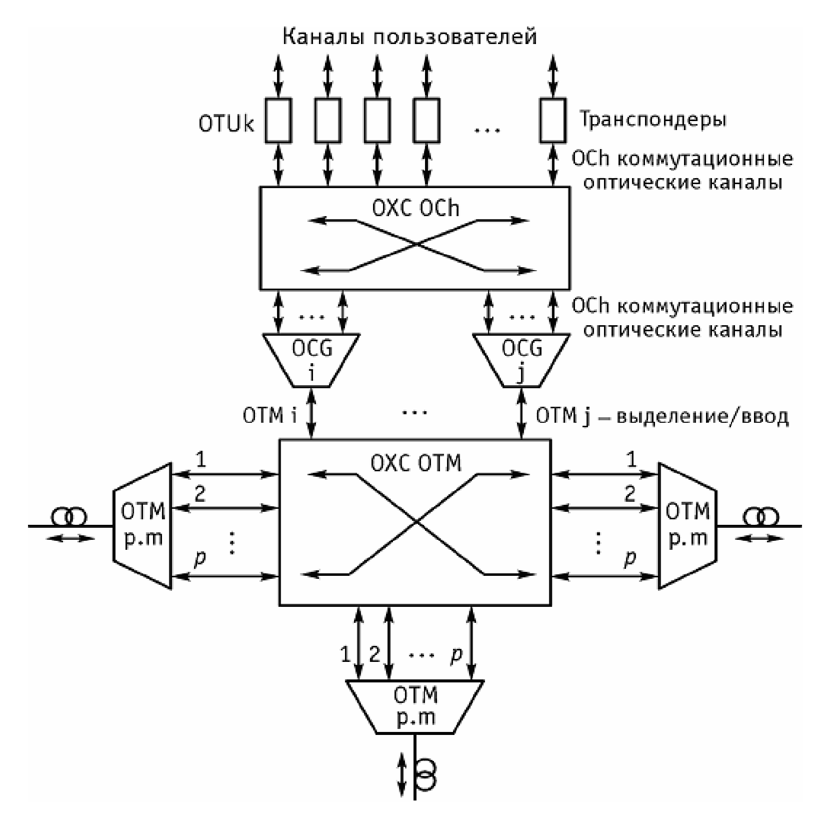


Рис. 4.22. Структура кроссового оптического коммутатора OTM-OCh

4.6. Платформенный принцип построения сетевых элементов

Новое поколение сетевых элементов рассчитано на реализацию мультисервисной, многофункциональной, оптической транспортной платформы. Эта платформа позволяет строить сетевые элементы и сети разных топологий. Платформа характеризуется исключительной модульностью и масштабируемостью, что позволяет формировать экономичные решения с возможностями гибкого расширения по мере дальнейшего развития сети. Как правило, платформа базируется на четырех типах универсальных корзин:

– пользовательская корзина (как правило, на одну плату-слот);
– компактная корзина (3…4 платы-слота);
– однорядная корзина (10…20 плат-слотов);
– двухрядная корзина (20…30 плат-слотов).

Корзины могут объединяться между собой произвольным образом для формирования единого сетевого элемента или целого узла связи.

Примерами платформенной реализации сетевых элементов транспортных оптических сетей являются:

– Alcatel 1850TSS (Transport Service Switch);
– Cisco ONS 15454MSTP (Multiservice Provisioning Platform);
– Marconi MHL3000 DMSP (DWDM Marconi Smart Photonix) и т.д.

Что является общим для мультисервисных транспортных платформ?

Оптический или фотонный уровень реализуется с использованием перестраиваемых оптических излучателей, переключателей оптических каналов (волн) и групп оптических каналов (модулей волн), оптических мультиплексоров ROADM, оптических усилителей различного типа (полупроводниковых, волоконных, рамановских), оптических фильтров с настраиваемой полосой частот, избирательных фотоприемников, оптической коррекцией и регенерацией, защитными переключениями и т.д.

Уровень услуг транспортировки позволяет динамически предоставлять требуемую полосу частот (скорость передачи), гибко управлять объемами пакетной передачи через функции сцепки и регулировки емкости каналов, производить непрерывный контроль качества услуг и т.д.

Уровень сигнального управления позволяет включать мультисервисную транспортную платформу в коммутируемую сеть ASON.

Мультисервисные транспортные платформы предназначены прежде всего для преобразования городских и региональных транспортных сетей в интеллектуальные сети. Для этого формируется широкий набор интерфейсов:

– STM-1…STM-N (N = 4, 16, 64, 256);
– Ethernet (10/100/1000 Мбит/с);
– ATM;
– MPLS;
– Fiber Channel;
– FICON и ESCON;
– HDTV;
– PDH (E1, E3, E4).

В состав платформ входят неблокируемые коммутаторы:

– оптические (2D и 3D) с масштабируемой емкостью;
– электрические (384×384 VC-4, 2016×2016 VC-12);
– коммутаторы пакетов Ethernet;
– коммутаторы ячеек ATM с поддержкой виртуальных соединений.

Для связи платформ используются одноволновые и многоволновые линейные интерфейсы оптических сигналов.

В корзины платформы устанавливаются карты (блоки) 5 групп:

– общие системные карты (управление, сигнализация, электропитание и т.д.);
– карты с электрическими интерфейсами для пользователей;
– карты с оптическими интерфейсами для пользователей;
– линейные (агрегатные) карты с оптическими интерфейсами SDH и WDM;
– карты для передачи данных по сетям SDH, OTH.

Большинство карт транспортной платформы могут иметь резерв. Это касается, прежде всего, узлов коммутации, синхронизации, линейных карт и пользовательских окончаний. Кроме карт платформа оснащается программным продуктом для налаживания всех взаимодействий в сети и каждого сетевого элемента. Система сетевого управления позволяет реализовать большие возможности по организации связи. Как правило,

управление имеет графическое отображение ресурсов сетевого элемента и сети, что позволяет легко ориентироваться при постановке задач конфигурирования сети.

Контрольные вопросы

1. Что включает базовая конфигурация сетевого элемента транспортной сети в свой состав?
2. Какое назначение имеет сетевой элемент «регенератор»?
3. Какое назначение и функциональные возможности имеет сетевой элемент «оптический усилитель»?
4. Какие функции поддерживает терминальные мультиплексоры?
5. Чем отличаются протоколы LAPS и GFP?
6. С какой целью в составе оборудования сетевых элементов SDH используются интерфейсы Ethernet и ATM?
7. Какие возможности создает использование в составе аппаратуры SDH «цветных» интерфейсов?
8. Что обеспечивает транспондер в составе сетевого элемента?
9. Какие особенности имеют сетевые элементы «мультиплексоры вывода/ввода»?
10. Какие особенности построения и функций имеет сетевой элемент «кроссовый коммутатор»?
11. Какие возможности имеют сетевые элементы типа OADM и ROADM?
12. В чем заключается платформенный принцип построения сетевых элементов?

Глава 5

АРХИТЕКТУРЫ, ЗАЩИТА, СИНХРОНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

Под архитектурами транспортных сетей принято понимать включение сетевых элементов, как удаленных друг от друга, так и близко расположенных, в определенные физические схемы (точка-точка, линейная цепочка, кольцо, ячейки и т.д.) и организацию в этих схемах соединений в интересах потребителей ресурсов транспортной сети. Кроме того, к понятию архитектур транспортных сетей относится и возможное резервирование соединений сетевых элементов и соединений в интересах потребителей. В архитектурах транспортных сетей предусматриваются схемы синхронизации и управления.

5.1. Архитектуры транспортных сетей

Архитектура «точка-точка» соединяет два сетевых элемента, образованных терминальными мультиплексорами. Если это соединение протяженное, то оно может включать промежуточные регенераторы (рис. 5.1). Основной и резервный агрегатные выходы формируют систему защиты типа 1+1 (1:1), в этом случае в резервной линии возможен пропуск дополнительной нагрузки. При отказе основного физического соединения сеть автоматически за время не более 50 мс переходит на резервное физическое соединение. Благодаря своей простоте эта топология широко используется на магистральных сетях со скоростями 2,5, 10 Гбит/с и в режиме WDM (рис. 5.2). При этом защитные функции могут реализоваться как мультиплексорами WDM (OMX, Optical Multiplexer), так и средствами мультиплексоров SDH.

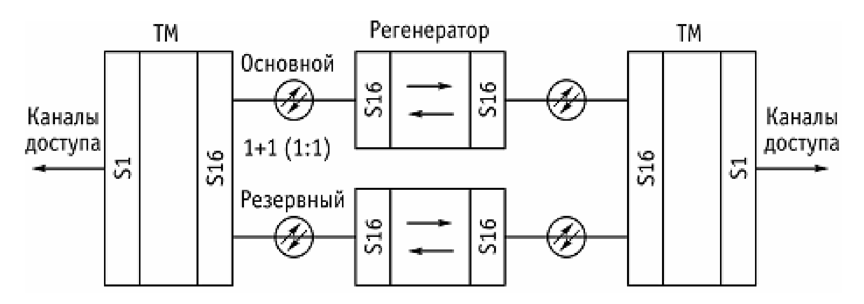


Рис. 5.1. Соединение «точка-точка»

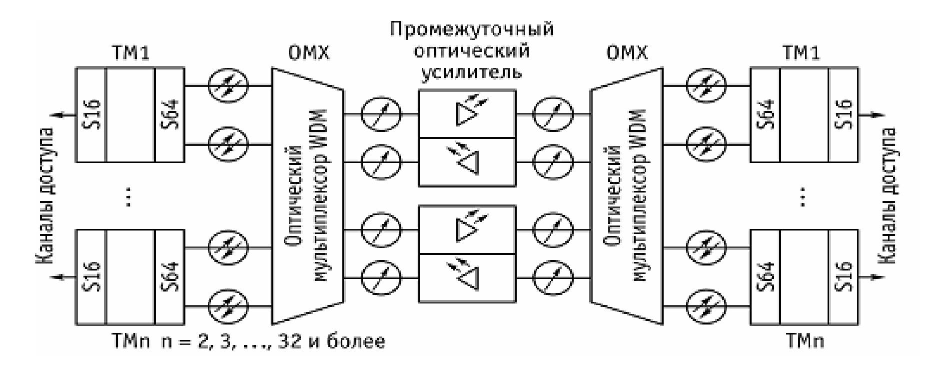


Рис. 5.2. Структура «точка-точка», образованная терминальными мультиплексорами SDH (STM-64) и оптическими мультиплексорами с числом волновых каналов *n*

В структуре с оптическими мультиплексорами может применяться промежуточное усиление и коррекция оптических многоволновых сигналов. Для этого устанавливают оптические усилители, которые заменяют $2n$ ($n = 2...32$ и более) регенераторов. Преимущество этого решения состоит в возможности наращивания емкости транспортной сети постепенно по мере необходимости введением новых волновых каналов без изменения промежуточных усилителей и сохранением гарантированной защиты в секции оптического мультиплексирования между OMX.

Структура «линейная цепь» соединяет терминальные сетевые элементы и промежуточные сетевые элементы с каналами доступа (рис. 5.3). Она применяется при ограниченной дальности передачи и не очень интенсивном трафике, например, в технологической транспортной сети. При этом формируется частый доступ к каналам в промежуточных мультиплексорах вывода/ввода ADM. Схема не имеет линейной защиты и отличается простотой построения и относительно низкой стоимостью реализации.

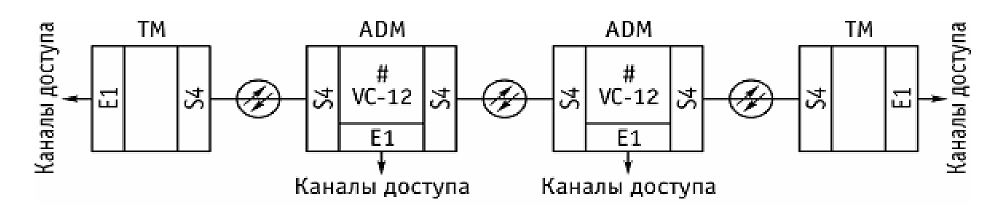


Рис. 5.3. Структура «линейная цепь»

При необходимости введения линейной защиты в структуре «линейная цепь» вводится резервная линия между терминальными мультиплексорами TM, и в этом случае топология преобразуется в плоское (уплощенное) кольцо (рис. 5.4).

Для повышения эффективности использования «линейной цепи» возможно применение режима передачи с WDM и оборудования OADM (рис. 5.5).

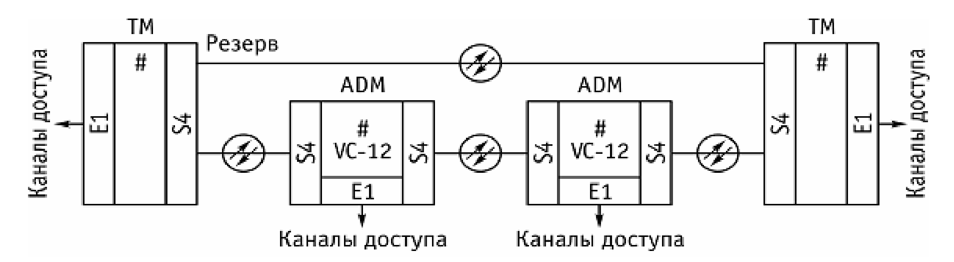


Рис. 5.4. Структура «плоское кольцо»

В структуре ***«оптическая линейная цепь»*** промежуточные оптические мультиплексоры выполняют на основе волоконных брэгговских решеток — оптических фильтров, т.е. пассивных устройств, настроенных на фиксированные волны для их выделения и ввода. При этом число волн выделения и ввода ограничено (2, 4, 8). В приведенном примере (рис. 5.5) мультиплексоры SDH в составе сетевых элементов выполняют функции терминирования. Однако возможно реализовать и функции вывода/ввода ADM (рис. 5.6).

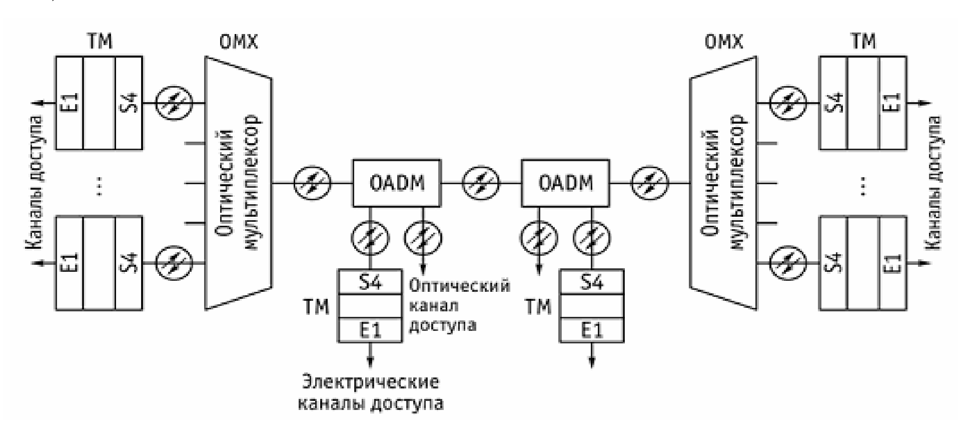


Рис. 5.5. Структура «оптическая линейная цепь»

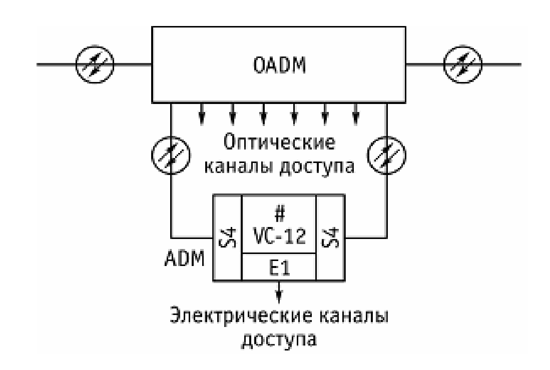


Рис. 5.6. Промежуточный сетевой элемент оптической сети с доступом к оптическим и электрическим каналам

Платформенный принцип построения сетевых элементов транспортной сети позволяет реализовать структуру типа «звезда». В этом случае терминалы сети позволяют концентрировать трафик для ввода в магистральную сеть (рис. 5.7).

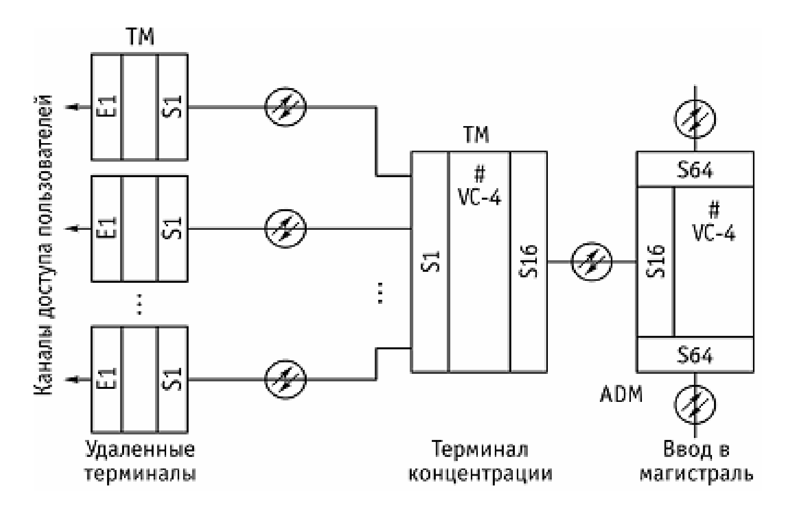


Рис. 5.7. Структура «звезда»

Структура «Звезда» также может быть выполнена в оптической сети с WDM. При этом мультиплексоры SDH оснащают «цветными» агрегатными интерфейсами (рис. 5.8).

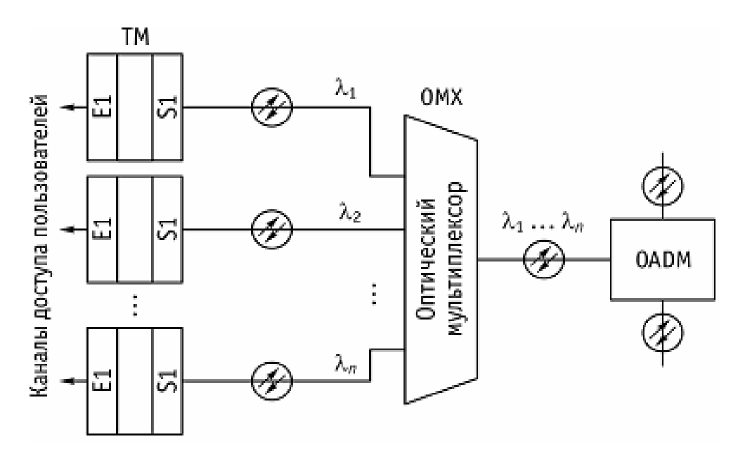


Рис. 5.8. Структура «звезда» в оптической сети

В структуре «кольцо» все сетевые элементы идентичны в агрегатной части и объединены в непрерывную замкнутую физическую сеть. Различают две топологии в этой архитектуре: 2-волоконное кольцо; 4-волоконное кольцо.

Эти топологии приведены на рис. 5.9 и 5.10.

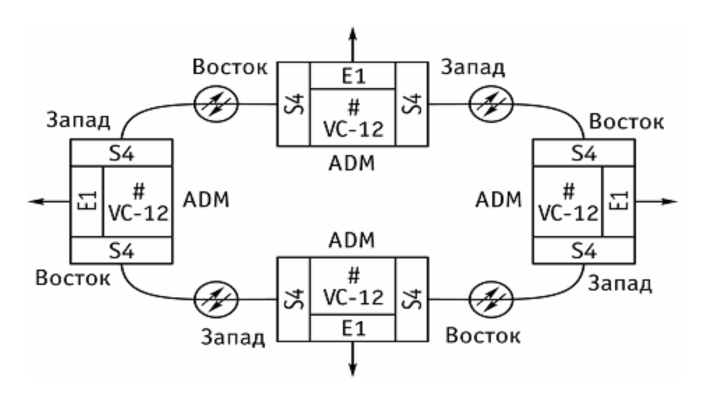


Рис. 5.9. Структура «двухволоконное кольцо»

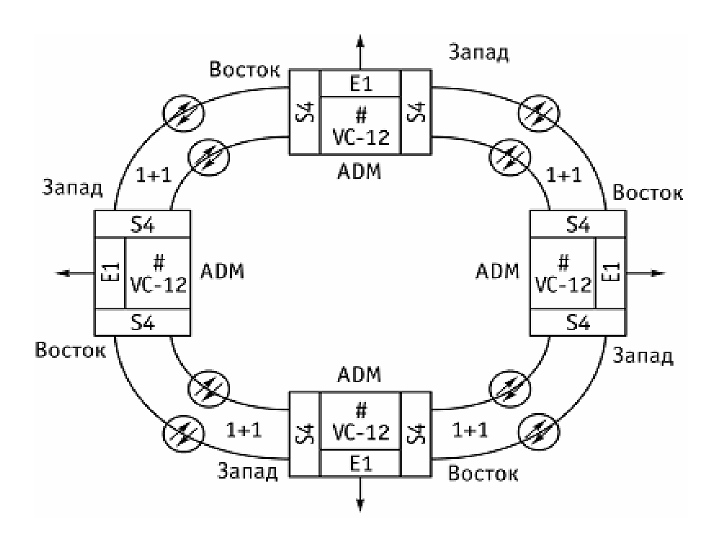


Рис. 5.10. Структура «четырехволоконное кольцо»

Структура «кольцо» отличается высокой живучестью, реализуемой через развитые схемы защиты. Физическая защита участка передачи между парой соседних мультиплексоров гарантирована в топологии «четырехволоконное кольцо» благодаря использованию двух отдельных кабельных линий и независимых агрегатных портов, количество которых в каждом мультиплексоре — 4. В топологии «двухволоконное кольцо» защита реализуется за счет использования внутренней емкости передачи в кольце, то есть емкости STM-N. Варианты организации передачи в кольце и защиты соединений рассматриваются ниже в отдельном разделе.

Более эффективное, с точки зрения возможностей волокна, использование ресурсов структуры «кольцо» может быть достигнуто в оптической сети с применением WDM (рис. 5.11, 5.12).

На рис. 5.11 представлен пример соединения секций мультиплексирования WDM типа «точка-точка» в кольцевую топологию через мультиплексоры SDH. Схема эквивалентна схеме, представленной на рис. 5.9. При этом все защитные функции возложены на мультиплексоры SDH. Режим передачи WDM обеспечивает только эффективное использование ресурсов стекловолокна. Эта структура отличается большой избыточностью электрического и оптического оборудования (оптических интерфейсов, транспондеров в OMX), сложностью построения систем управления оборудованием SDH и WDM, ограниченной масштабируемостью. От этого ряда проблем существенно избавлена топология оптического кольца с мультиплексорами ROADM. В этой топологии средствами ROADM обеспечиваются живучесть, гибкость, масштабируемость и экономичность сети. Транспортная среда на основе оптических волн пригодна для загрузки трафика особых услуг (SDH, OTH, ATM, Ethernet, MPLS и т.д.).

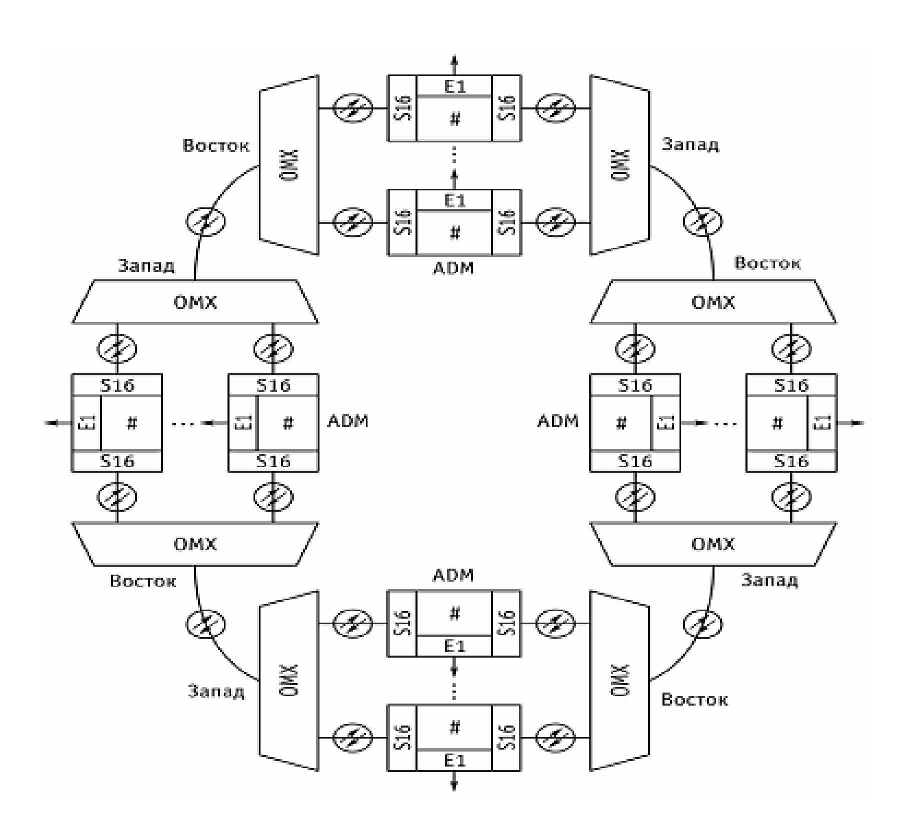


Рис. 5.11. Структура «оптическое кольцо» в двухволоконном варианте с электрической ретрансляцией сигналов STM-16

Кольцевые транспортные сети применяются на городских и внутризоновых сетях. На магистральных сетях выстраивается ***структура «ячейка»***. В этой структуре крупные сетевые узлы соединяются защищенными магистралями топологии «точка-точка». При этом узлы связаны по принципу каждый с каждым (рис. 5.13).

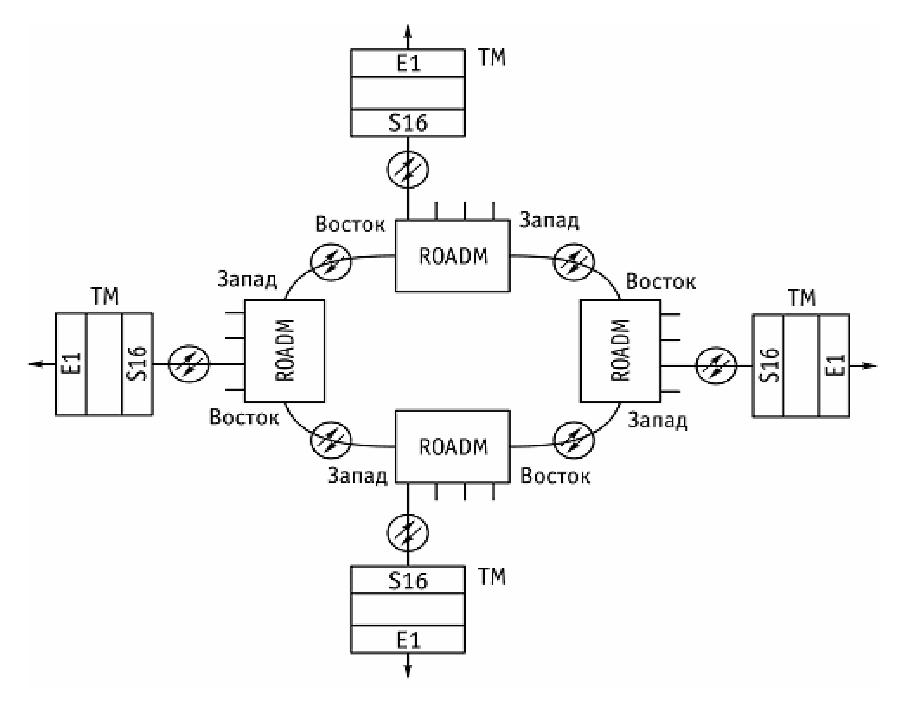


Рис. 5.12. Структура «оптическое кольцо» в двухволоконном варианте с оптической ретрансляцией сигналов

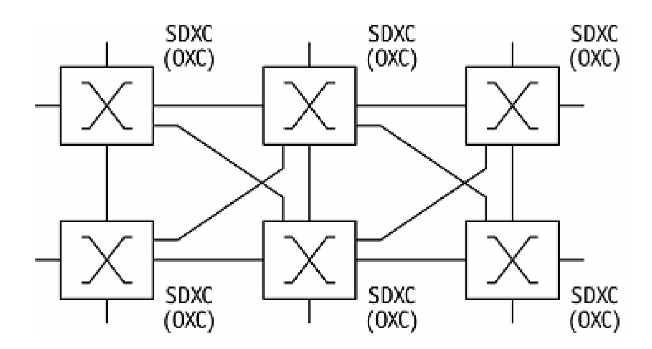


Рис. 5.13. Пример структуры в виде ячеек цифровой или оптической транспортной сети

На рис. 5.13 представлен пример двухячеистой структуры транспортной сети. Узлы этой сети представляют собой синхронные цифровые кроссовые коммутаторы (SDXC) или оптические кроссовые коммутаторы (OXC), которые могут включаться в автоматически коммутируемую оптическую сеть (ASON). На практике транспортные сети строятся как смешанные структуры: «кольцо–линейная цепь», «пересекающиеся кольца», «цепочки колец» и т.д. При этом на стыке различных топологий устанавливают, как правило, узлы кроссовой коммутации электрических и оптических каналов. Такие узлы

позволяют поддерживать физические соединения каналов и логические связи (маршруты, виртуальные пути, виртуальные каналы).

Необходимо отметить, что кольцевые структуры поддерживаются и технологией EoT (Ethernet) в транспортной сети через протокол RPR, сеть SDH, оптическую сеть WDM, собственную протокольную организацию STP (Spanning Tree Protocol), благодаря которой существует несколько параллельных путей, гарантирующих резервные пути прохождения трафика при нормальном функционировании основного пути и активизацию одного из резервных путей при нарушении основного пути.

Соединения пользователей в транспортной сети различаются на защищенные и незащищенные. Защищенность соединений может определяться как физическим построением сети (архитектурой физических связей сетевых элементов), так и логической организацией соединений.

Соединение пользователей транспортной сети может проходить через ряд участков: секцию мультиплексирования, подсеть, тракт (рис. 5.14).

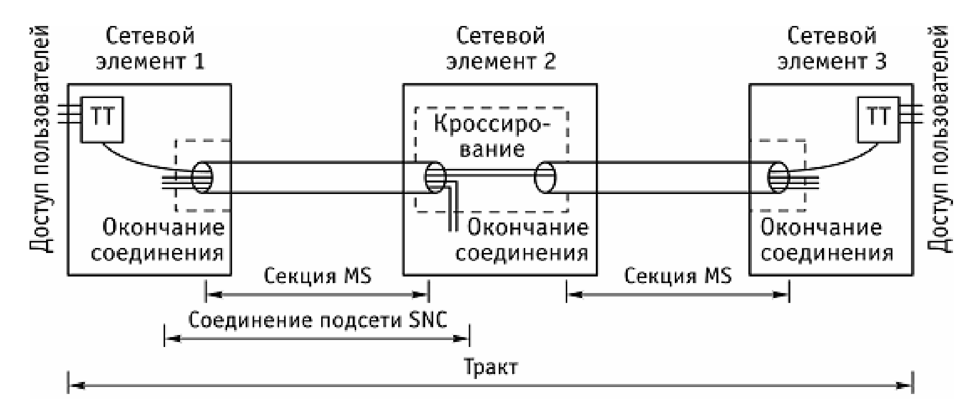


Рис. 5.14. Участки соединения пользователей в транспортной сети

Маршрут передачи называется трактом, если на его концах находятся две точки терминирования (TP, Termination Point) тракта. Например, точка окончания тракта в сети SDH выполняет функции окончания тракта для получения виртуального контейнера (VC-n/m) с заголовком тракта (POH). Тракт может проходить через другие сетевые элементы в составе других соединений и при этом контролироваться через встроенные функции тандемных соединений (TCM).

Соединение подсети **(SNC)** является частью тракта, завершаемого двумя точками окончания соединения, рассчитанными на функцию контроля соединения. В точке окончания соединения осуществляется только мониторинг сигналов. Например, эти точки реализуются в сетевых элементах с интерфейсами SDH. На SNC между двумя точками могут быть установлены другие сетевые элементы (регенераторы, мультиплексоры).

Секцией мультиплексирования **(MS)** является участок соединения (линии) между двумя мультиплексорами SDH, наделенный функциями окончания секции мультиплексирования (MST, Multiplex Section Termination), используемыми для обмена сигналами

STM-N. На таком пути передачи могут быть установлены регенераторы и оптические усилители.

Соединения в транспортной сети подразделяют на однонаправленные и двунаправленные. Кроме того, двухсторонние соединения, в свою очередь, подразделяют на соединения в одном маршруте и в различных маршрутах. Все виды соединений представлены на рис. 5.15 (*а*, *б*, *в*).

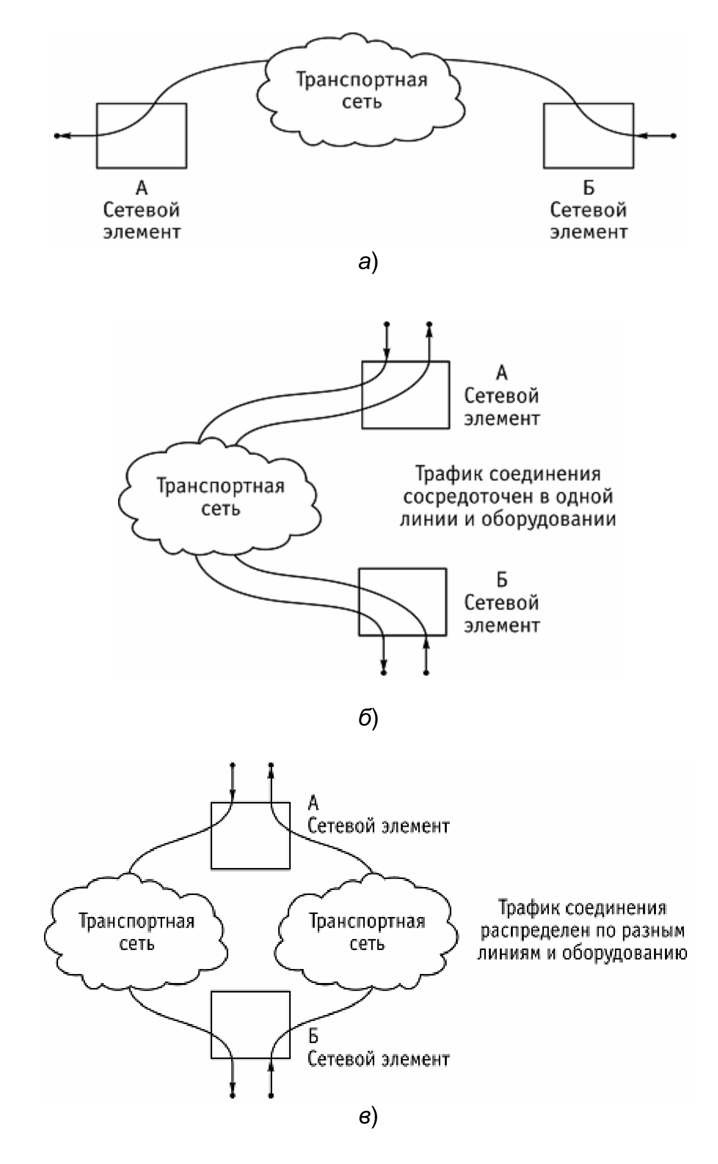


Рис. 5.15. Примеры соединений в траспортной сети:
а) однонаправленное соединение; *б*) двунаправленное соединение с общей передачай;
в) двунаправленное соединение с раздельной передачей

Принцип однонаправленного и двунаправленного соединения широко применяется в кольцевых сетях. На рис. 5.16 (*а*, *б*) представлены примеры схем однонаправленного и двунаправленного соединений в кольцевой транспортной сети. Как видно из рисунков, в кольцевой сети при любом из видов передачи существует потенциальный резерв соединения, который может быть использован для его защиты.

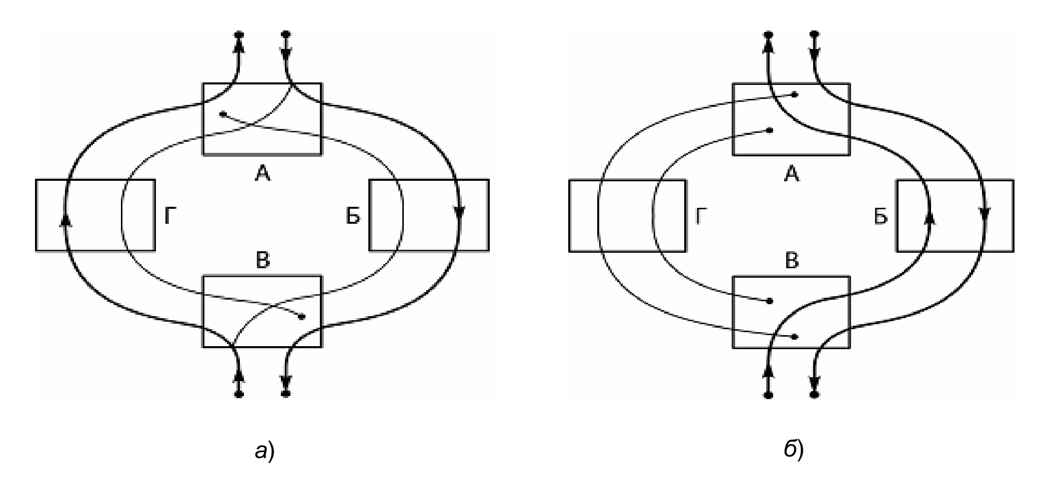


Рис. 5.16. Примеры организации соединений в кольцевой сети:
а) с однонаправленной передачей;
б) с двунаправленной передачей

Приведенные способы организации соединений в транспортных сетях применимы не только для передачи и защиты электрических сигналов, но используются и для оптических сигналов в многоволновой сети WDM. Эти общие принципы рассмотрены в стандартах МСЭ-Т G.841, G.842, G.784, G.803.

5.2. Схемы защиты транспортных сетей

Схемы защиты транспортных сетей предусматривают защиту линейного тракта (секций мультиплексирования), соединения (тракта высокого или низкого порядка, оптических каналов, виртуальных соединений при пакетной передаче) и оборудования.

5.2.1. Защита секции мультиплексирования 1+1 (1:1)

Защита секции мультиплексирования вида 1+1 (1:1) относится к защите линейного тракта за счет резервного кабеля и оборудования. В этой защите различают две возможности:

– (1+1) — одна рабочая секция мультиплексирования непрерывно дублируется одной резервной секцией мультиплексирования (рис. 5.17). При аварии рабочей секции селектор приёмной стороны подключит резервную секцию;

– (1:1) — одна рабочая секция мультиплексирования может быть продублирована в аварийном состоянии резервной секцией, которая в нормальном режиме переносит дополнительный трафик, который автоматически сбрасывается при аварии основной рабочей секции (рис. 5.18).

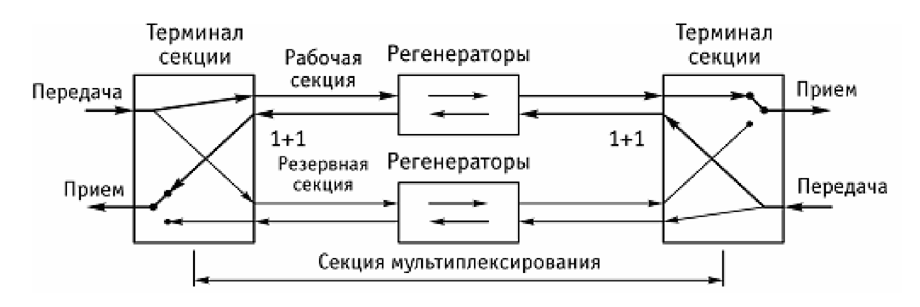


Рис. 5.17. Принцип резервирования секции 1+1

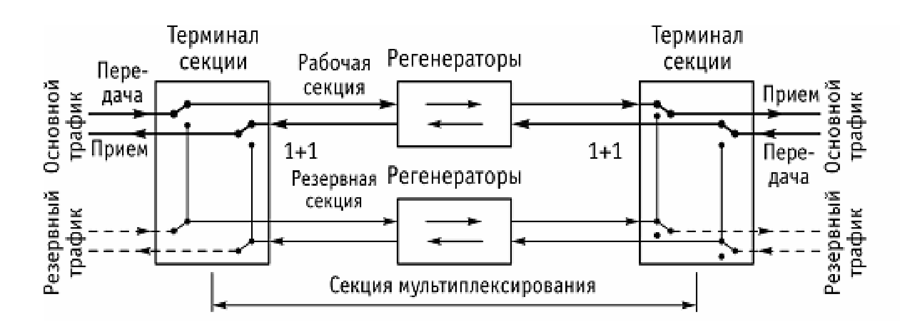


Рис. 5.18. Резервирование секции мультиплексирования 1:1

Признаками, инициирующими выполнение защитного переключения в секции мультиплексирования STM-N могут быть следующие сигналы:

– потеря сигнала на приеме (LOS);

– потеря цикла STM-N (LOF);

– избыточный коэффициент ошибок по битам (BER > 10^{-10}).

Управление процессами переключения с рабочей секции мультиплексирования на резервную происходит в байтах K1, K2 заголовков MSOH резервной секции по приоритетам (табл. 5.1, 5.2, значки ↑ и ↓ указывают на повышение или понижение приоритета).

С учетом того, что передача линейных сигналов STM-N может происходить по одной или двум параллельным системам, возможны два варианта переключений: синхронизированный и несинхронизированный.

При двунаправленной передаче в рабочей секции переключение на резерв производится в двустороннем режиме, то есть передатчик и приемник синхронно переключаются на резерв.

При однонаправленной передаче в рабочей и резервной секциях переключение на резерв производится в одностороннем режиме, то есть приемник выбирает лучший по качеству сигнал. Это может привести к ситуации, когда по рабочей секции происходит передача только в одном направлении, например, слева направо (рис. 5.17), а передача в другом направлении ведется в резервной секции.

Таблица 5.1. Состояния и функции байта К1

<table>
<tr><th>Биты 1…4</th><th>Функции</th><th>Приоритет</th><th>Биты 5…8</th><th>Запрос коммутации</th></tr>
<tr><td>1111</td><td>Блокирование защиты</td><td>Высокий</td><td>1111</td><td>Дополнительный сигнал и использование в схеме 1:n</td></tr>
<tr><td>1110</td><td>Ускоренное переключение</td><td>↑</td><td>1110</td><td rowspan="14">Рабочие каналы с трафиковыми сигналами (от 1 до 14).
При защите по схеме 1+1 запрос на переключение считать высокоприоритетным</td></tr>
<tr><td>1101</td><td>Потеря сигнала, высокий приоритет</td><td></td><td>1101</td></tr>
<tr><td>1100</td><td>Потеря сигнала, низкий приоритет</td><td></td><td>1100</td></tr>
<tr><td>1011</td><td>Ухудшение сигнала, высокий приоритет</td><td></td><td>1011</td></tr>
<tr><td>1010</td><td>Ухудшение сигнала, низкий приоритет</td><td></td><td>1010</td></tr>
<tr><td>1001</td><td>Не используется</td><td></td><td>1001</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>Ручное переключение</td><td></td><td>1000</td></tr>
<tr><td>0111</td><td>Не используется</td><td></td><td>0111</td></tr>
<tr><td>0110</td><td>Ожидание запроса</td><td></td><td>0110</td></tr>
<tr><td>0101</td><td>Не используется</td><td></td><td>0101</td></tr>
<tr><td>0100</td><td>Тестирование</td><td></td><td>0100</td></tr>
<tr><td>0011</td><td>Не используется</td><td></td><td>0011</td></tr>
<tr><td>0010</td><td>Запрос о перемене направления</td><td></td><td>0010</td></tr>
<tr><td>0001</td><td>Нет перемены направления</td><td>↓</td><td>0001</td></tr>
<tr><td>0000</td><td>Нет запроса</td><td>Низкий</td><td>0000</td><td>Нулевой сигнал</td></tr>
</table>

Таблица 5.2. Состояния и функции байта К2

<table>
<tr><th colspan="2">Назначение битов 1…4</th><th colspan="2">Назначение бита 5</th><th colspan="2">Назначение битов 6…8</th></tr>
<tr><th>Код</th><th>Функции</th><th>Код</th><th>Функции</th><th>Код</th><th>Функции</th></tr>
<tr><td rowspan="2">0000</td><td rowspan="2">Отсутствие защиты</td><td rowspan="3">0</td><td rowspan="3">Защита 1+1</td><td>111</td><td>MS-AIS</td></tr>
<tr><td>110</td><td>MS-RDI</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0001
0010
0010
0011
…
1110</td><td rowspan="2">Защищаемые трафиковые каналы (1…14)
Для защиты 1+1 используется только один канал — 0001</td><td rowspan="3">101
100
011
010
001
000</td><td rowspan="3">Резерв</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">Защита 1:n</td></tr>
<tr><td>1111</td><td>Резервный (сверхтрафиковый) сигнал, используется в схеме 1:n</td></tr>
</table>

Защита секции мультиплексирования может реализовываться в обратимом и необратимом режимах. Обратимый режим предусмотрен с возвратом с резервной секции на рабочую, как только на этой секции восстанавливается соответствующее качество передачи, и это состояние сохраняется в течение определенного периода времени, называемого «ожидание перед восстановлением». Необратимый режим предусмотрен без автоматического возврата на рабочую секцию, однако этот возврат возможен при снижении качества передачи в резервной секции ниже качества рабочей секции. Кроме того, предусматривается принудительное (ручное) переключение с рабочей на резервную секцию и обратно.

При защите секции оптического мультиплексирования WDM OMS предусматривается деление мощности многоволнового сигнала WDM пополам с последующей передачей в различных волокнах (в различных кабельных линиях) (рис. 5.19).

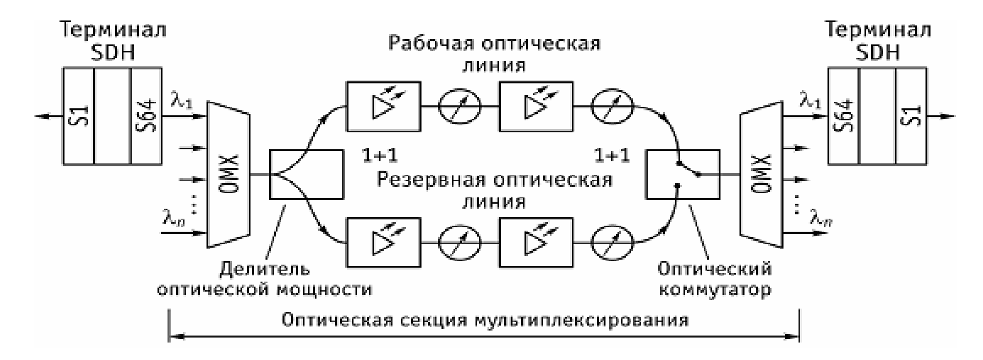


Рис. 5.19. Защита секции оптического мультиплексирования

На приемной стороне оптический коммутатор, управляемый пороговым устройством контроля оптической мощности, гарантированно быстро (не более чем за 50 мс) может изменить направление приема оптического сигнала.

Помимо оптического защитного переключения в оптической транспортной сети (OTN) возможна реализация электронной схемы защитного переключения с использованием байт управления APS (Automatic Protection Switch) в заголовке ODUk (рис. 5.20). Электрический разветвитель сигнала пользователя (сплиттер — ESpl, Electrical Splitter) делит сигнал между отдельными каналами, организуемыми через транспондеры (TPD) и оптические мультиплексоры и демультиплексоры (OMX, ODMX), а электрический коммутатор (ESw, Electrical Switch) обеспечивает выбор лучшего сигнала на приёме.

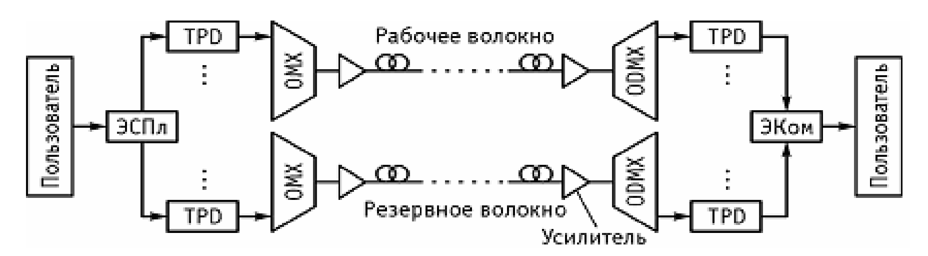


Рис. 5.20. Схема электрической защиты в оптической сети

Протокол защитного переключения (APS) уровня блока данных оптического канала (ODUk) реализуется посредством четырех байтов заголовка ODUk (рис. 3.98, табл. 3.19).

На рис. 5.21 иллюстрированы процедуры обмена сигнальными сообщениями APS в секции мультиплексирования между станциями A и B. В табл. 5.3 приведены отметки приоритетов по активации протокола APS. Однонаправленная защитная схема реализуется двумя взаимодействующими сторонами (A-B) независимо друг от друга, но при этом формируются сообщения состояния, которые транслируются одним байтом в 3-байтовом блоке канала APS (см. табл. 3.19). Если на стороне A обнаруживается повреждение, то происходит переключение селектора на резервную линию и формируется сообщение состояния моста и селектора (SF1,1) в сторону B. Изменённое состояние стороны A может продолжаться сколько угодно. Оно будет исходным для возможного последующего повреждения (SF). Состояние мостов A и B неизменно и отмечается логической «1». Состояние селектора отмечается в нормальном режиме логическим «0», а в режиме защиты логической «1». Состояния селектора стороны B отмечены на рис. 5.21 различными штрихами с использованием примера ухудшения качества передачи (SD1,1), т.е. повышением коэффициента ошибок. При восстановлении качества принимаемого сигнала на стороне B включается таймер ожидания (8…12 мин). В сторону A идёт извещение (WTR1,1). После истечения времени ожидания селектор B переключается в исходное состояние и передаётся сообщение (NR0,1). Другие примеры защиты оптической сети рассмотрены в [33].

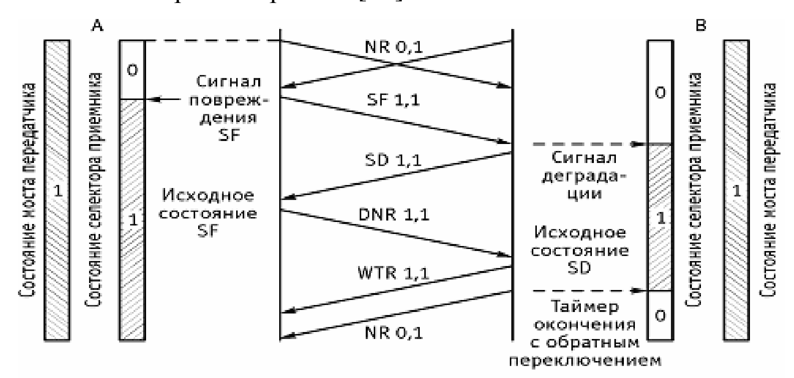


Рис. 5.21. Процедуры обмена сигналами APS в схеме однонаправленной защиты 1+1

Таблица 5.3. Приоритеты активации протокола APS

Запрос/состояние	Приоритет
Блокировка защиты (LO)	1 (высший)
Ускоренное переключение (FS)	2
Сигнал повреждения (SF)	3
Сигнал ухудшения (SD)	4
Ручное переключение (MS)	5
Ожидание восстановления (WTR)	6
Без возврата (DNR)	7
Нет запроса (NR)	8 (низший)

5.2.2. Защита секции мультиплексирования в кольцевой сети

Кольцевая транспортная сеть может иметь ряд вариантов организации защиты трафика пользователей в однонаправленном и двунаправленном кольцах. При этом различают защиту секций мультиплексирования и соединений подсети (отдельных трактов). В настоящем разделе рассматривается защита секции мультиплексирования, обозначаемая MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protected Rings), когда независимо от организации кольца (одно или двунаправленное) все тракты одновременно переключаются на резервные ресурсы.

Пример построения схемы однонаправленного кольца на двух волокнах и функционирование защиты представлен на рис. 5.22, где представлены пять сетевых элементов (А, Б, В, Г, Д) SDH (мультиплексоры выделения/ввода), через которые организовано соединение, например, тракт низкого порядка VC-12. Этот тракт терминируется в сетевых элементах А и В, но проходит транзитом благодаря внутренней кроссовой коммутации через сетевые элементы Б, Г, Д.

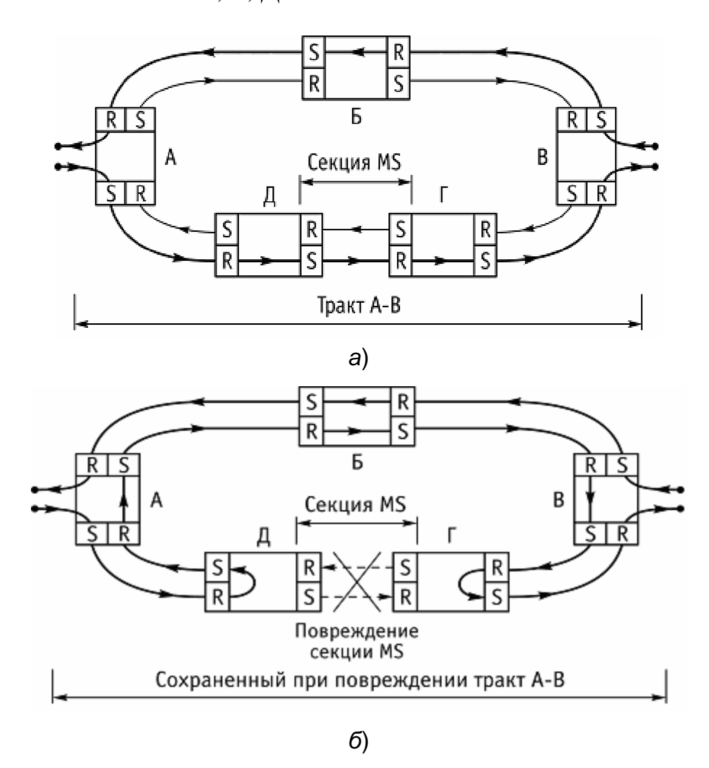


Рис. 5.22. Однонаправленные кольца:
а) с защитой секции мультиплексирования MS;
б) с защитой секции мультиплексирования MS при повреждении линии

Аналогично можно организовать соединение между любой парой сетевых элементов. При этом между соседними сетевыми элементами организована двухволоконная передача STM-N (между точками S и R, (S, sender — передача, R, receive — прием). Та-

ким образом, создано два направления (два кольца) передачи независимые друг от друга (внутреннее и внешнее кольца). Все рабочие соединения транспортной сети в интересах пользователей организуются во внешнем кольце. Внутреннее кольцо на всех секциях мультиплексирования остается свободным от трафика и рассматривается как резерв для защиты любой секции мультиплексирования. Пример защитной реконфигурации в кольце показан на рис. 5.22, *б*. Поврежденная секция мультиплексирования MS между сетевыми элементами Д и Г обходится за счет реконфигурации передачи из внешнего кольца на внутреннее и, тем самым, сохранения тракта А-В в рабочем состоянии, как и для других возможных трактов между любой парой сетевых элементов. Описанные функции переключения реализуются на уровне VC-12 и VC-4. При большом количестве VC-12 и VC-4, например, в STM-64, реализация этх функций одновременно вызывает сложности, связанные с построением оборудования и программ управления. По этой причине подобные защиты секции MS рекомендованы для колец малой емкости, т.е. обычно не выше STM-4.

Для кольцевых сетей средней емкости, например, STM-16 может быть применена защита в двунаправленном кольце при работе каждой секции в двухволоконном режиме (рис. 5.23, *а*). Каждая секция MS содержит два волокна, в каждом из которых ведется передача STM-N (например, STM-16). При такой организации передачи необходимо иметь половину емкости STM-N свободной от соединений пользователей, которая может использоваться в качестве защитной (рис. 5.23, *б*).

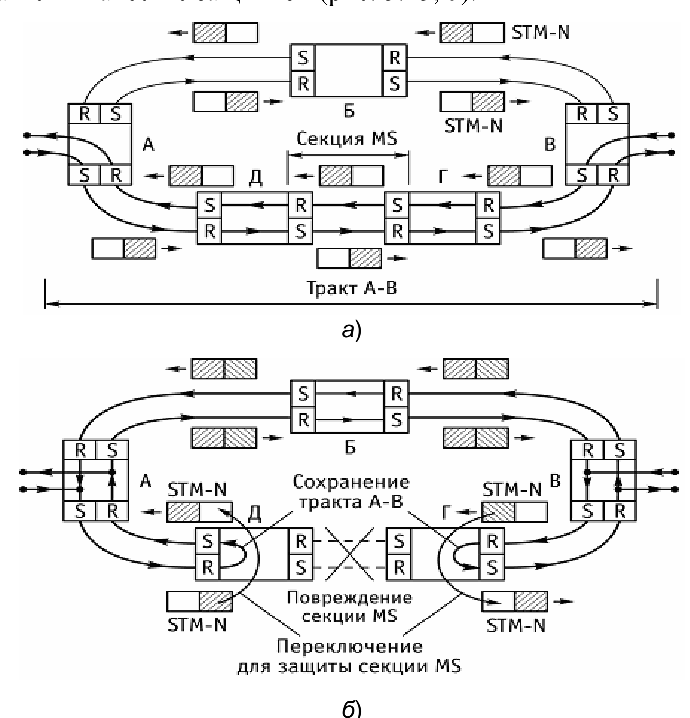


Рис. 5.23. Двунаправленное кольцо:
а) с защитой секции мультиплексирования MS;
б) с защитой секции мультиплексирования MS при повреждении линии

После устранения повреждения в кольце происходит восстановление рабочего состояния. Норматив времени на защиту составляет 50 мс. Однако при большом числе сетевых элементов выполнение этого норматива может быть затруднено длительным процессом обмена информацией между взаимодействующими мультиплексорами посредством байт К1, К2 в заголовках MSOH.

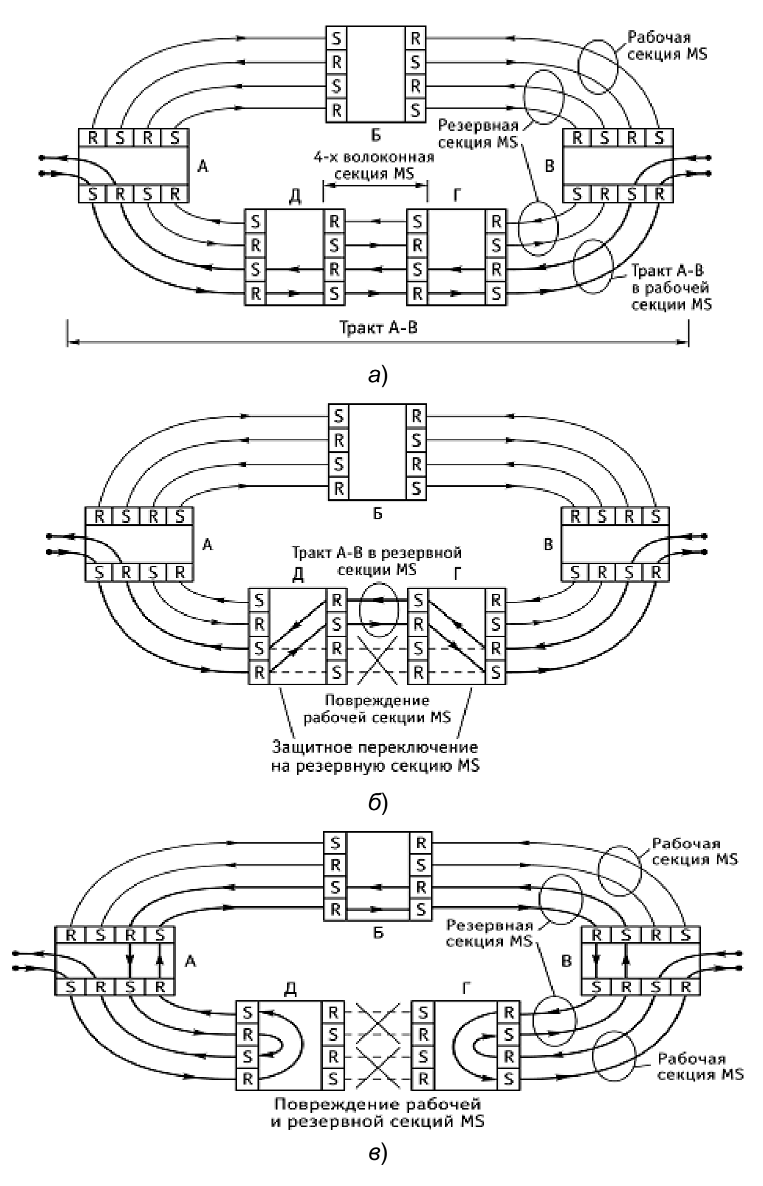


Рис. 5.24. Четырехволоконное кольцо
а) с защитой секции мультиплексирования MS;
б) с защитой секции мультиплексирования MS при повреждении линии;
в) с защитой секции мультиплексирования MS при двойном повреждении линии

Для кольцевой транспортной сети большой емкости, например, STM-64 может использоваться четырехволоконное кольцо с двунаправленной передачей и защитой секции мультиплексирования. В этом случае все соседние сетевые элементы в кольце должны соединяться двумя кабельными линиями с использованием двух пар волокон в каждой. Аппаратура сетевых элементов должна оснащаться четырьмя агрегатными интерфейсами (рис. 5.24, *а*).

В четырехволоконном кольце каждая секция мультиплексирования MS между соседними сетевыми элементами может быть полностью использована для соединений. При этом резервная секция, организованная по другим волокнам, полностью свободна от соединений на всех участках кольца. При повреждении любой секции MS в кольце должно произойти переключение на резервную секцию всех соединений сети. При этом все тракты сохраняются (рис. 5.24, *б*). Переключение происходит через функции MSP соседних мультиплексоров. Эти функции поддерживаются обменом байтами К1, К2 заголовков MSOH резервной секции MS.

Четырехволоконные кольцевые сети сохранят свою работоспособность и при двойном повреждении любой из секций мультиплексирования MS (рис. 5.24, *в*).

5.2.3. Защита соединения тракта

Защита соединений тракта транспортной сети может быть рассмотрена для линейной и кольцевой транспортных сетей. Функции защиты трактов высокого и низкого порядков (HOV и LOV) поддерживаются оконечными (терминальными) и промежуточными мультиплексорами. Для этого в заголовках трактов SDH предусмотрены байты: VC-4 — J1, N1, K3, H4, C2; VC-12 — J2, N2, K4. Кроме того, поддержка функций защиты программируется в матрицах коммутации, а промежуточный контроль качества трактов выполняется блоками функций тандемного контроля. Тракт, организованный в сложной разветвленной сети, разбивается на участки (подсети), где может быть реализована защита соединения SNC/P (Subnetwork Connection Protection). Различают подвиды SNC/P:

– SNC/I, Subnetwork Connection protection with Inherent monitoring — защита соединения подсети с обязательным (встроенным) мониторингом;
– SNC/N, Subnetwork Connection protection with Non-intrusive monitoring — защита соединения подсети с необязательным (ненавязчивым) мониторингом.

Защита SNC/P проводится по схеме 1+1, т.е. на рабочий тракт должен быть предусмотрен свободный резервный. Защита SNC/P возможна и в смешанных сетях (кольцевых и линейных). При этом соединения могут выполняться одно- и двунаправленными. Пример построения однонаправленного соединения в кольцевой сети приведен на рис. 5.25, *а*. Защитное переключение в этой сети показано на рис. 5.25, *б*. При таком переключении соединение из однонаправленного преобразуется в двунаправленное. Время переключения для защиты соединения нормировано величиной 30 мс, что при соблюдении этого условия сохраняет трафик этого соединения, например телефонные каналы.

Сложные смешанные линейные и кольцевые транспортные сети имеют развитый механизм защиты SNC/P. Этот механизм реализуется через кроссовые коммутаторы, через двойные пересечения транспортных колец и т.д. Тракты, состоящие из цепочек соединений SNC, должны иметь в таких сетях надежную защиту. На рис. 5.26, *а* приведен пример организации соединения типа SNC/P в двойной кольцевой сети. На рис. 5.26, *б* и 5.26, *в* показаны примеры защитных коммутаций SNC/P на отдельных участках соединения тракта.

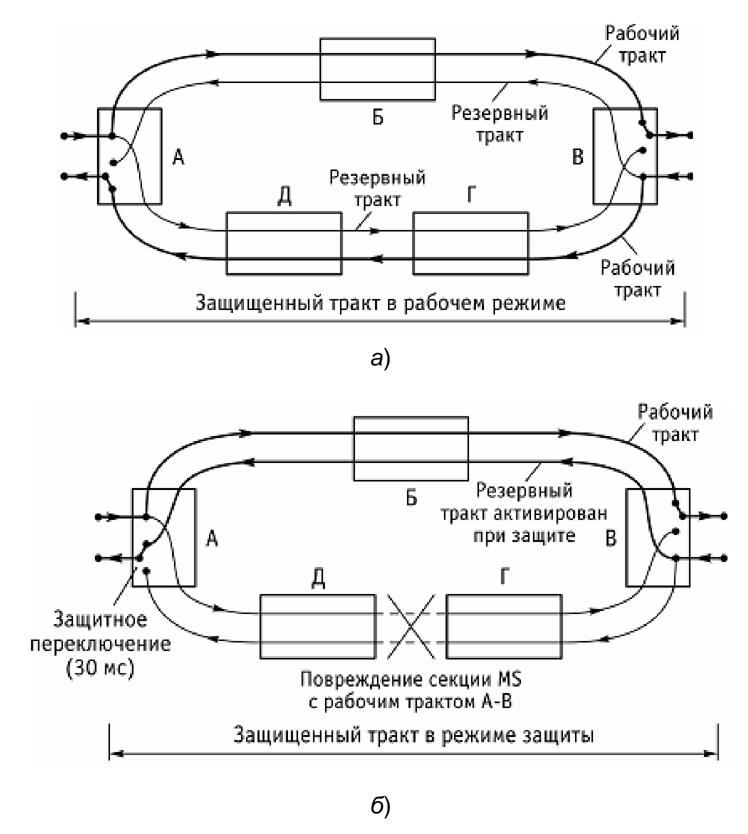


Рис. 5.25. Однонаправленное кольцо:
а) с защищенным трактом;
б) с защищенным трактом при повреждении секции мультиплексирования

Поставщики сетевого оборудования для транспортных сетей используют различные системы обозначений механизмов организации защитных переключений. В Европе принято обозначать:

– 2F-MS-SPRing, 2 Fiber Multiplex Section Shared protected Rings — 2-волоконная секция мультиплексирования с применением защиты колец;
– 4F-MS-SPRing, 4 Fiber Multiplex Section Shared protected Rings — 4-волоконная секция мультиплексирования с применением защиты колец;
– 2F-SNC-P, 2 Fiber Subnetwork Connection protection Ring — 2-волоконное соединение подсети с защитой в кольце.

В Северной Америке и некоторых других странах приняты обозначения:

– 2F BLSR, 2 Fiber Bi-directional Line-Switched Ring — 2-волоконное двунаправленное кольцо с коммутацией линии;
– 4F BLSR, 4 Fiber Bi-directional Line-Switched Ring — 4-волоконное двунаправленное кольцо с коммутацией линии;
– 2F UPSR, 2 Fiber Unidirectional Path-Switched Ring — 2-волоконное однонаправленное кольцо с переключением тракта.

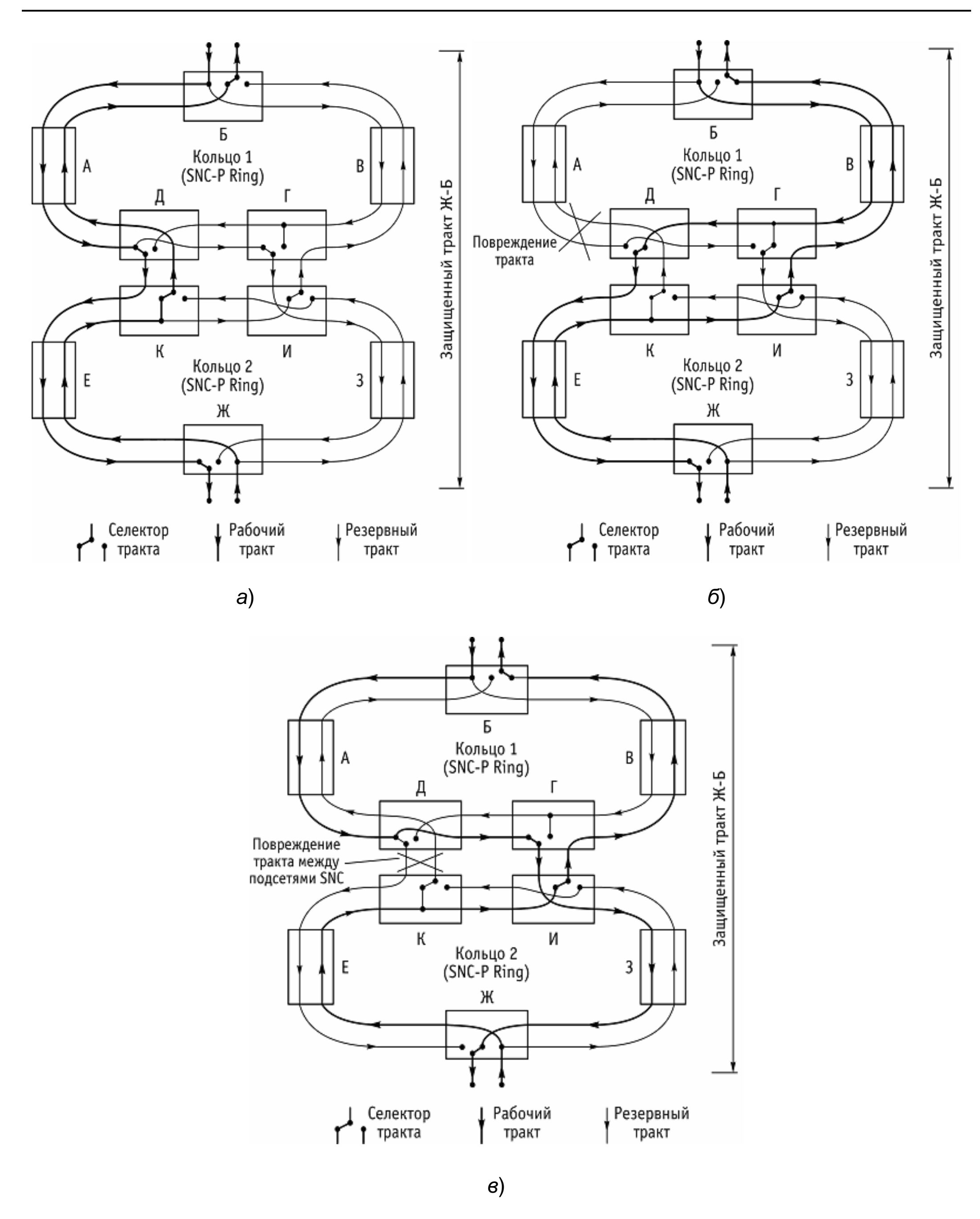


Рис. 5.26. Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC-P):
а) в рабочем режиме;
б) в режиме повреждения тракта в первом кольце;
в) в режиме повреждения тракта между подсетями

Эти обозначения в порядке перечисления соответствуют:
– 2F-MS-SPRing и 2F BLSR;
– 4F-MS-SPRing и 4F BLSR;
– 2F-SNCP и 2F UPSR.

Для обозначения защитных функций в оптических сетях кольцевого типа используются обозначения с приставкой «O»:
– O-ULSR или OMS-DPRing (1+1) — (1:1);
– O-BLSR или OMS-SPRing (1:N) — (M:N);
– O-UPSR или OCh-DPRing (1+1) — (1:1);
– O-BPSR или OCh-SPRing (1:N) — (M:N).

Буквенные индексы D и S обозначают:

D — *dedicated* fiber line или Wavelength, т.е. переключение на назначенное резервное волокно или оптическую волну (волновой канал OCh);

S — *shared* fiber link или Wavelength, т.е. переключение на определенную волоконную линию или волну (оптический канал OCh).

5.2.4. Защитные переключения в сети с многоволновой передачей WDM

Функции защитных переключений оптических каналов в сети с передачей WDM возлагаются на фотонные коммутаторы. Эти коммутаторы имеют различные конструкции и характеристики, в частности, что важно для переключения, быстродействие. Применение указанных коммутаторов в транспортных сетях определяется этапом развития последних. Защита соединений на уровнях трактов, секций и каналов в кольцевых и ячеистых оптических сетях возможна только с развитым сервисным управлением по отдельным каналам. Это обусловлено необходимостью маршрутизации рабочих и защитных оптических соединений, преобразованием волн в узлах и их динамическим управлением. В оптических сетях с коммутацией волн и пакетов на волнах динамическая защита является непременным условием. Для реализации динамической защиты на уровне соединений каналов и трактов оптической сети необходимо применение быстродействующих коммутаторов и частотных селекторов WSS (Wavelength Selective Switch), которые обеспечивает коммутацию волновых каналов по направлениям (маршрутам), поддерживают выделение и ввод волновых каналов, регулируют уровень мощности каждого канала (рис. 5.27).

Использование групп WSS совместно с оптическими мультиплексорами и демультиплексорами позволяет строить узлы выделения/ввода с защитой волновых каналов, групп волновых каналов (оптических модулей), маршрутов (трактов) и секций мультиплексирования и передачи. Пример построения сети с переключением волн в WSS и использованием этой коммутации для защиты соединений на отдельных волнах приведен на рис. 5.28.

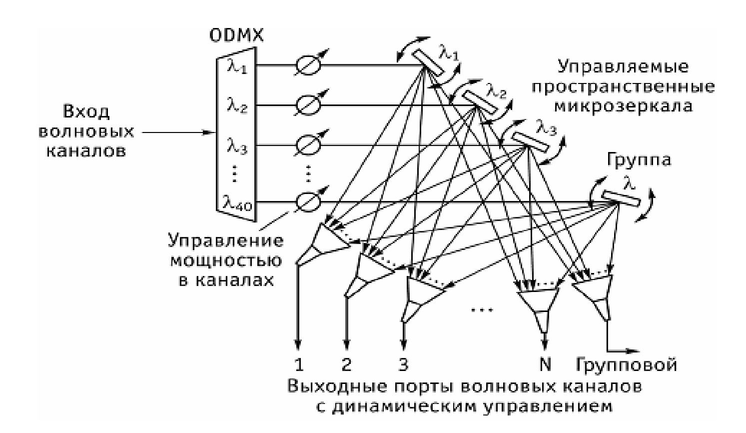


Рис. 5.27. Пример общего построения динамически управляемого частотного селектора-коммутатора

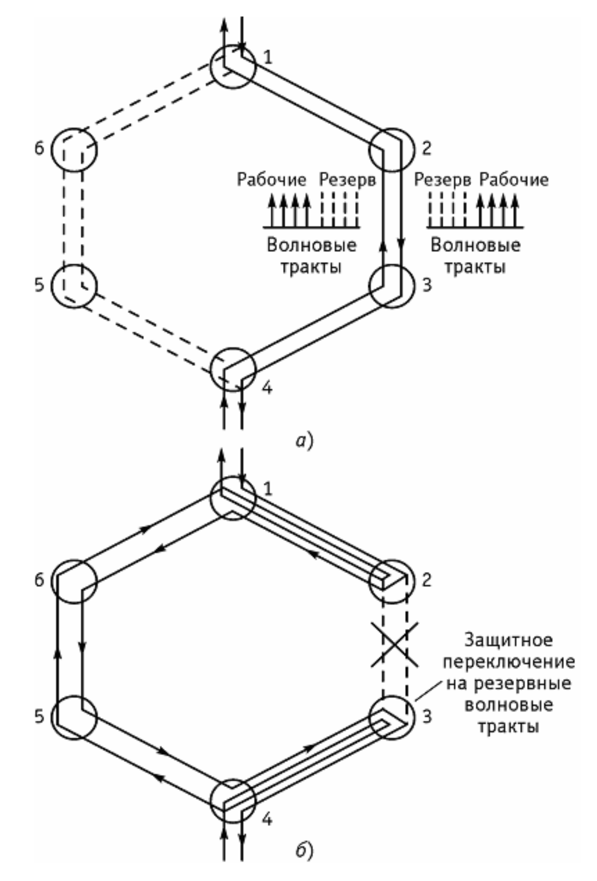


Рис. 5.28. Пример защищенного двунаправленного оптического соединения в кольцевой сети:
а) рабочее состояние; *б*) состояние защиты

5.2.5. Защитные переключения в транспортной сети Ethernet

Соединения в транспортных сетях Ethernet могут защищаться как средствами физического уровня, так и протокольными средствами.

Средства физического уровня используются при организации соединений через среды SDH, OTH, RPR, PDH, в которых предусмотрены встроенные средства автоматического защитного переключения в интервале времени менее 50 мс. Это гарантирует сохранение соединений сети Ethernet. Однако при построении локальных сетей, сетей доступа, местных и внутризоновых транспортных сетей Ethernet с использованием различных электрических и оптических интерфейсов для поддержки физических соединений типа «точка-точка» нет средств APS физического уровня.

Для разветвленной физической конфигурации сети Ethernet может использоваться протокол «охвата деревьев» STP (Spanning Tree Protocol), который создает несколько путей прохождения трафика. Один из путей в нормальном режиме используется, а остальные заблокированы. При аварии происходит активизация одного из резервных путей. Время защитного переключения может составлять от 10 мс до 1 с в зависимости от топологии сети, что не гарантирует высокого качества соединения сети Ethernet. По этой причине МСЭ-Т ведет непрерывную работу по стандартизации функций защитного переключения в транспортных сетях Ethernet. Примером этому служит Рекомендация G.8031/2006, в которой определен протокол E-APS (Ethernet Automatic Protection Switching). Он предусматривает защитные переключения соединений сети Ethernet следующих видов:

- 1+1, т.е. трафик одновременно следует от одной точки к другой двумя независимыми путями с выбором лучшего на приёме;
- 1:1, т.е. трафик следует только по одному пути от точки к точке, а другой альтернативный путь создан, но не используется до наступления аварийного состояния рабочего пути;
- архитектура защиты может иметь одно или два направления;
- протокол не поддерживает кольцевые и смешанные физические соединения в сети;
- протокол не поддерживает защитные соединения STP;
- протокол реализуется через служебные кадры Ethernet, поддерживающие соединения с функциями технической эксплуатации OAM и TCM.

При реализации E-APS гарантируется время переключения до 50 мс.

5.3. Синхронизация в транспортных сетях

Обработка цифровых сигналов в различных системах (передачи, коммутации, мультиплексирования и т.д.) должна выполняться в строгой последовательности во времени и синхронно. Приемник цифровых сигналов должен всегда работать синхронно с передатчиком. Только это условие, выполненное полностью, способствует безошибочной передаче цифровых данных. Следовательно, такты импульсной передачи, создаваемые передатчиком, должны синхронизировать работу приемника. Проблема тактовой синхронизации обнаруживается на стыке цифровых систем (систем передачи и систем коммутации), имеющих самостоятельные тактовые механизмы. На стыке взаимодейст-

вующих цифровых систем устанавливается буферная память, в которую данные поступают с тактовой частотой f_1, а считываются с тактовой частотой f_2. Частоты f_1 и f_2 могут не совпадать. Кроме того, такты записи и считывания могут расходиться по фазе. Фазы тактов частот f_1 и f_2 могут дрейфовать во времени. Изменение фаз с частотой свыше 10 Гц получило название джиттера. Изменение фаз с частотой менее 10 Гц получило название блуждание или вандер.

В результате различия частот и фаз тактов записи данных в буферную память и их считывания могут появиться лишние временные посылки, которые переполнят буфер и будут утеряны, таким образом может образоваться их недостаток, который приведёт к ложному считыванию из буфера неопределённых посылок. В конечном итоге это может привести к сбою на более высоких уровнях цифровой обработки. Например, нарушается последовательность данных слов синхронизации по циклам, по сверхциклам, разрушаются синхронизирующие последовательности пакетов данных сетей: ATM, Ethernet и других. В свою очередь это может приводить к потере части информационных сообщений, ухудшению качества услуг связи. Явление пропуска или повторения бит в считываемом из буфера цифровом сигнале на стыке систем получило название проскальзывания (Slip).

Проскальзывания делятся на два типа:

– *управляемые проскальзывания*, которые не приводят к сбою циклового синхронизма и при этом сигнал с потерями восстанавливает синхронизм;
– *неуправляемые проскальзывания*, которые приводят к потере циклового синхронизма и невосполнимым потерям в цифровом сигнале.

Почему актуальна синхронизация аппаратуры, работающей в транспортной сети?

Дело в том, что, например, в аппаратуре SDH формируются цифровые блоки C-x, VC-x, TU-n/m, AU-n, STM-N, которые передаются в линии бит за битом от передатчика к приемнику. Потери отдельных битов могут привести к сбою циклового синхронизма в STM-N, нарушению значения указателя PTR, нарушению синхронного кроссового соединения SDXC и т.д. В конечном итоге нарушение транспортной среды передачи SDH приведет к потере циклов E1 и разрушению телефонных соединений, потере изображений при видеосвязи или трансляции программ телевидения и т.д. Таким образом, необходимо нормировать и контролировать количество таких потерь, сводить их к минимуму использованием различных средств.

5.3.1. Нормирование проскальзываний

Нормирование числа проскальзываний в единицу времени основано на необходимом качестве услуг, предоставляемых пользователю оператором связи. Основные требования по качеству услуг определены в Рекомендации G.801 МСЭ-Т для структуры международного цифрового соединения длиной 27500 км (рис. 5.29). В этом соединении, согласно рекомендации G.822, должно происходить:

а) не более 5 проскальзываний за 24 часа в течение 98,9% общего времени работы соединения;

б) более 5 проскальзываний за 24 часа, но менее 30 за 1 час в течение времени 1% общей работы соединения;

в) допускается более 30 проскальзываний за 1 час в течение 0,1% времени общей работы соединения.



Рис. 5.29. Структура международного эталонного цифрового соединения:
МС — местная станция; ПЦК — первичный центр коммутации;
ВЦК — вторичный центр коммутации; ТЦК — третичный центр коммутации

При этом считается, что общее время работы соединения должно составлять не менее 1 года. Категория качества (а) считается нормальным режимом работы. Что касается распределения продолжительности времени работы с пониженным качеством (б) и неудовлетворительным качеством (в) на международном и национальном участках, то распределение следующее:

– международный транзит — 8% от продолжительности работы (режимы б, в);
– на каждую из национальных сетей (местная + национальный транзит) — 46%, из которых 40% выделено на местную сеть.

Для определения числа проскальзываний в связи со стабильностью тактов передачи в буфере взаимодействия используется формула для оценки проскальзываний, приводящих к потере циклового синхронизма [52]:

Число проскальзываний за сутки = (число циклов в секунду) ×
× (число секунд в сутках) × ($\Delta f/f$),

где $\Delta f/f$ — точность синхронизации за сутки.

При длительности циклов 125 мкс, цикловой частоте 8 кГц, числе секунд в сутках 86400 секунд, приведенная формула имеет вид:

Число проскальзываний за сутки = $6{,}9 \times 10^8 \times (\Delta f / f)$.

Таким образом, чем больше разность частот записи и считывания данных в буферной памяти Δf, тем больше частота проскальзываний. Например, чтобы обеспечить частоту проскальзываний не более чем одно за 70 суток необходимо определить $\Delta f/f$. Число проскальзываний в сутки $1/70 \approx 0{,}014$; $\Delta f/f = 0{,}014 / 6{,}9 \times 10^8 \approx 2 \times 10^{-11}$. Иными словами на стыке взаимодействующих цифровых систем должна поддерживаться стабильность частоты генератора атомных стандартов (рубидиевый, цезиевый или водородный).

Для выполнения норматива на число проскальзываний не более одного за 70 суток необходимо для двух самостоятельных по синхронизации узлов иметь стабильность генераторов 1×10^{-11}.

Для распределения норм проскальзываний на число узлов N (на рис. 5.29 $N = 13$) применима формула:

$$\text{Число проскальзываний} = \frac{\text{1 проскальзывание за 70 суток}}{N-1},$$

т.е. для $N = 13$ одно проскальзывание, при условии самостоятельных тактовых механизмов каждого узла, составит

$$\frac{70}{13-1} = 5{,}8 \text{ суток.}$$

Каким образом можно обеспечить выполнение указанных норм?

Используются следующие методы и походы:

– применение эластичной памяти, компенсирующей кратковременную нестабильность тактовой частоты в буферных схемах;
– применение высокостабильных генераторов тактовых частот: атомных часов с водородным, цезиевым или рубидиевым стабилизаторами и специально стабилизированных кварцевых генераторов;
– применение иерархической принудительной системы распределения тактового синхронизма;
– грамотное проектирование сети синхронизации с учетом возможностей транспортных систем и систем управления;
– моделированием системы распределения синхронизма;
– регулярное проведение аудита тактовой сетевой синхронизации;
– подготовка высококвалифицированных специалистов.

5.3.2. Фазовые дрожания и их нормирование относительно проскальзываний

Для нормирования цифровых трактов установлена связь между числом проскальзываний и фазовыми дрожаниями через серию Рекомендаций МСЭ-Т (рис. 5.30). При этом нормируются джиттер и вандер.

Качество услуг ⟶ G.801 ⟶ Нормы на проскальзывания G.822 ⟶ Модель цепи синхронизации G.803 ⟶ Нормы на оборудование SDH (G.783, G.957, G.958) ⟶ Нормы на генераторы (G.811, G.812, G.813) ⟶ Нормы на джиттер и вандер (G.823, G.825)

Рис. 5.30. Связь рекомендаций МСЭ-Т по нормированию проскальзываний

Целью нормирования джиттера является:

– исключение накопления джиттера в цепи последовательно соединенного генераторного оборудования сети синхронизации;
– обеспечение устойчивости генераторного оборудования к входному джиттеру, исключая при этом фазовую автоподстройку частоты (ФАПЧ) из высокочастотной шумовой составляющей дрожания тактового сигнала;
– обеспечение допустимого уровня джиттера, генерируемого оборудованием;
– обеспечение оптимальной передачи (фильтрации) джиттера генераторным оборудованием;

– снижение вероятности проскальзываний и ошибок в цифровых сигналах из-за дрожания фазы;
– устранение неуправляемых проскальзываний из-за переполнения буферной памяти.

Для реализации перечисленных целей нормированию и контролю полежат три характеристики джиттера:
– генерация джиттера в цифровой сети (нормируется максимальное значение на любом выходном интерфейсе);
– передача джиттера в цифровой сети (нормируются передаточные характеристики оборудования);
– устойчивость к джиттеру входных интерфейсов оборудования.

На рис. 5.31 представлен дрожащий цифровой сигнал и его идеальные значащие моменты, по отношению к которым определена амплитуда и размах джиттера.

В качестве нормированного значения джиттера на выходе любых цифровых интерфейсов принимается амплитуда дрожаний на единичном интервале UI (Unit Interval) для заданных частотных спектров дрожаний. При этом часто используется относительная величина амплитуды и размаха джиттера к одному UI. Примеры предельных норм относительной амплитуды дрожаний на выходе некоторых цифровых интерфейсов в нормированных полосах частот представлены в табл. 5.4, а соответствующие фильтры полос частот для измерения представлены на рис. 5.32.

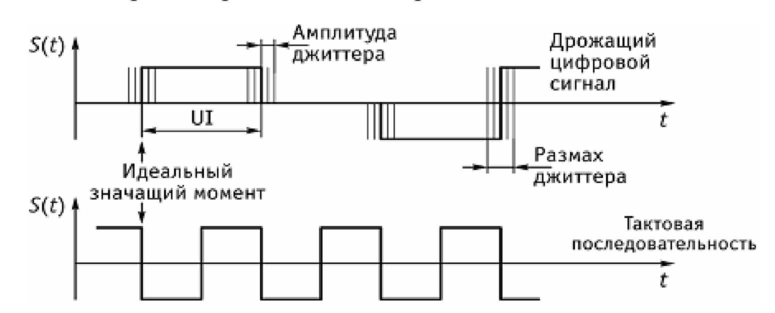


Рис. 5.31. Временные диаграммы дрожащего цифрового сигнала и тактовой последовательности, выделенной из идеального цифрового сигнала

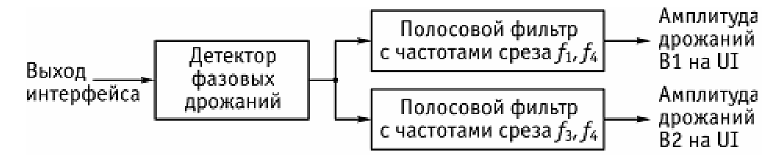


Рис. 5.32. Схема измерений фазовых дрожаний

При прохождении цифровых сигналов через цепочку регенераторов и мультиплексоров происходит наибольшее накопление фазовых дрожаний. Для определения требований к устройствам поддержки тактовых частот вводится нормирование передаточной характеристики дрожаний тактового сигнала, которое определяется коэффициентом передачи:

$$P = 20\lg \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}} < 0,1 \text{ дБ},$$

где $A_{\text{вых}}$ и $A_{\text{вх}}$ — относительные амплитуды выходного и входного дрожаний для определенных полос частот и типов регенераторов.

Для оценки накопления относительной амплитуды джиттера в регенераторах и мультиплексорах, включенных в цепочку, рекомендовано использовать формулу [52]:

$$A_N = A \times \sqrt[4]{N},$$

где A — относительная амплитуда дрожания на выходе одного регенератора или мультиплексора; N — число последовательно включаемых регенераторов или мультиплексоров. Так при $N = 20$, амплитуда увеличивается в 2,11 раза.

Таким образом, на основе оценок и нормативов в транспортной сети можно определить ограничения по количеству включаемых сетевых элементов в одну цепочку и, соответственно, дистанцию передачи тактового синхросигнала.

Таблица 5.4. Нормирование фазовых дрожаний

Цифровой выход интерфейсов	f_1 (Гц)	f_3 (Гц)	f_4 (Гц)	A1 относительно UI	A2 относительно UI
64 кбит/с	20	3	20	0,25	0,05
2,048 Мбит/с	20	48	100	1,5	0,2
34,368 Мбит/с	100	10	800	1,5	0,15
139,264 Мбит/с	200	10	3500	1,5	0,075
STM-1	500	65	1,3	1,5	0,15
STM-4	1000	250	5	1,5	0,15
STM-16	5000	1000	20	1,5	0,15

Нормирование устойчивости к входным фазовым дрожаниям необходимо для исключения отказа в работе при переключении внешних источников синхронизации сетевых элементов.

При нормировании величины вандера учитываются его различные источники:

- удлинение и сокращение кабеля при изменении температуры, вызывающие искажения фазы сигнала тактовой частоты и задержки распространения сигнала синхронизации; вандер для различных кабелей следующий: оптоволокно — 80 пс/(км×град°С), медные провода — 725 пс/(км×град°С);
- вандер от преобразований цифровых сигналов, движения указателей и проскальзываний;
- вандер из-за старения оборудования и суточного изменения температуры помещений с оборудованием.

Различные источники порождают различные частоты генерации вандера. При нормировании вандера используется эталонная модель сети синхронизации МСЭ-Т (рис. 5.33), в которой предусматривается один первичный эталонный генератор (ПЭГ) с

долговременной стабильностью частоты не хуже 1×10^{-11}, несколько вторичных или ведомых задающих генераторов (ВЗГ) с собственной долговременной стабильностью не хуже 10^{-8} и кратковременной стабильностью $10^{-9}\ldots10^{-11}$ (до 1 секунды), и нескольких генераторов сетевых элементов (ГСЭ) с собственной долговременной стабильностью не хуже 10^{-6}. В такой цепи синхронизации, которую обеспечивает тактами ПЭГ, а остальные генераторы подстраивают свои такты под такты ПЭГ, допускается величина вандера 18 мкс.

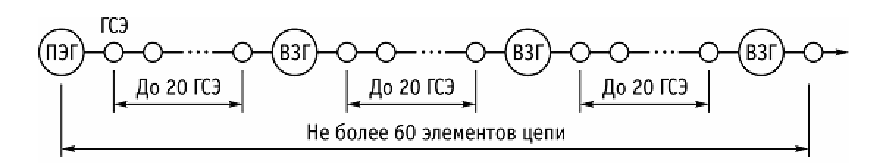


Рис. 5.33. Эталонная цепь синхронизации согласно рекомендации G.803

Контролируемым параметром вандера является ошибка временного интервала (ОВИ), разницу периодов идеального и контролируемого цифровых сигналов. При этом ОВИ может контролироваться на различных временных отрезках (от 0,1 с до 10^{8} с).

Нарушение нормы вандера может привести к перегрузкам буферной памяти и увеличению числа проскальзываний. Поэтому в список нормируемых параметров вандера входит:

– допустимый вандер на выходе генераторного оборудования;
– устойчивость к входному вандеру различных интерфейсов;
– передаточная характеристика вандера;
– допустимый вандер в нормальном режиме сети синхронизации.

5.3.3. Источники синхросигналов

Источники синхросигналов систем синхронизации подразделяются на два типа: атомные и кварцевые. Они обеспечивают формирование необходимых тактовых частот (например, 2048 кГц, 5 МГц, 10 МГц) и импульсных последовательностей в форме меандра (например, 2048 Мбит/с)

Атомные генераторы используют три атомных эталона: рубидий, цезий и водород. Рубидий поглощает микроволновые колебания на частоте 6834682608 Гц, цезий — на частоте 9192631770 Гц, водород — на частоте 1420405751,768 Гц. Они используются в качестве ПЭГ PRC (Primary Reference Clock).

Стабильность частоты рубидиевого генератора на интервале времени 1 с — $10^{-11}...10^{-12}$, 1 сутки — $10^{-12}...10^{-13}$, месяц — 10^{-11}. Эталон рубидия требует коррекции, так как ему присущ недостаток, обусловленный старением. Рубидиевый генератор используется совместно с генератором ГЛОНАСС или GPS (Global Position System). Генераторы навигационных систем ГЛОНАСС и GPS представляют собой атомные часы на основе цезиевых генераторов.

Цезиевые генераторы эталонной частоты не отличаются миниатюрностью и дешевизной. Они представляют собой атомную лабораторию в миниатюре, в которой атомы

цезия запускаются из нагреваемой камеры в вакуумную. Эти генераторы представляют собой первичные стандартные эталоны. В соответствии с международными соглашениями цезиевый генератор частоты определяет продолжительность времени в одну секунду. Это продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу атома цезия-133 между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Стабильность частоты генератора на интервале времени 1 с — 10^{-11}... 10^{-13}, 1 сутки — 10^{-13}...10^{-14}, в год — 10^{-13}. Эталон не требует коррекции.

Водородный эталон представляет собой мазер MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), обладает очень высокой стабильностью на коротких промежутках времени (несколько часов), стабильность оценивается величиной 10^{-15}. Тем не менее, он не заменяет цезиевый эталон из-за долговременного дрейфа.

Кварцевые генераторы подразделяются на три вида: обычные кварцевые, кварцевые с температурной компенсацией TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) и охлаждаемые кварцевые источники OCXO (Oven Compensated Crystal Oscillator). Они используются в качестве вторичных задающих генераторов ВЗГ (SRC — Second Reference Clocks).

Обычные кварцевые генераторы имеют стабильность в интервале времени 1 с — 10^{-9}, сутки — 10^{-7}, в год 10^{-6}.

Генераторы TCXO имеют стабильность в интервале времени 1 с — 10^{-9} сутки — 10^{-8}, в год 10^{-7}...10^{-8}.

Генераторы OCXO имеют стабильность в интервале времени 1 с — 10^{-9}...10^{-10}, сутки — 10^{-7}...10^{-9}, в год 10^{-9}...10^{-11}. При использовании двойного управляемого термостатирования кратковременная стабильность может составить 10^{-13}…5×10^{-13}.

Источники тактового синхронизма на основе глобальной системы позиционирования GPS (российский аналог ГЛОНАСС). В основе системы лежит использование низкоорбитальных спутников системы NAVSTAR. Одновременно над горизонтом в любой точке земного шара наблюдаются минимум три спутника. На спутниках размещаются цезиевые стандарты, которые генерируют сигналы заданного вида. Особенностью синхросигнала, генерируемого приемником от GPS, является его высокая долговременная стабильность и низкая кратковременная стабильность, которая зависит от количества спутников.

Источники тактового синхронизма ПЭГ и ВЗГ имеют достаточное число выходов синхросигналов. Однако для подключения синхросигналов с выходов мультиплексоров необходимо использовать аппаратуру разветвления сигналов синхронизации (АРСС). В состав АРСС входят блоки усилителей 2048 кГц и 2048 кбит/с, преобразования — передачи сигнала с одной тактовой частоты на другую.

5.3.4. Распределение тактового синхронизма

Распределение тактового синхронизма в цифровой сети осуществляется в пределах базовой сети синхронизации. При этом должны выполняться требования эталонной цепи синхронизации согласно рекомендации G.803 МСЭ-Т (см. рис. 5.33). Базовая сеть тактовой синхронизации состоит из нескольких зон синхронизации. В каждой зоне имеется ПЭГ, который поддерживает режим централизованной синхронизации, а все осталь-

ные генераторы зоны (ВЗГ и ГСЭ) подстраивают свои такты под его такты. При этом ВЗГ снижают величину фазовых дрожаний. Коэффициент передачи тактовой частоты через ВЗГ оценивается как отрицательный

$$P = 20\lg\frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}} < 0 \text{ дБ},$$

т.е. амплитуда фазовых дрожаний на выходе ВЗГ меньше амплитуды фазовых дрожаний на входе. Это обеспечивается генератором с управляемой частотой и цепью управления напряжением (ГУН). Кроме того, в ВЗГ может быть задействована буферная память ресинхронизации (ретайминга), где запись битовых тактов со случайной фазой сопровождается считыванием этих битов без фазовых дрожаний со стабильностью ПЭГ или ВЗГ. При этом полностью исключить влияние фазовых дрожаний (джиттера и вандера) невозможно, что накладывает ограничение на число последовательно включенных ГСЭ и ВЗГ.

На территории России базовую сеть синхронизации образует транспортная сеть ОАО Ростелеком. Базовая сеть представлена различными зонами (регионами) синхронизации: Дальневосточный (Хабаровский), Сибирский (Новосибирский), Центральный (Московский), Южный (Ростовский), Северо-западный (Санкт-Петербургский). Кроме того аналогичные функции может выполнять транспортная оптическая сеть компании «Транстелеком», в которой имеется четыре зоны синхронизации.

Внутри зоны синхронизации доставка сигналов от ПЭГ по основным и резервным линиям ко всей аппаратуре систем передачи, транспортных сетей и коммутаторам осуществляется средствами техники PDH, SDH, WDM и отдельными физическими линиями.

Синхронизация, передаваемая в системах PDH, — это сигнал 2048 кбит/с с тактовой частотой, соответствующей по стабильности частоте ПЭГ. По системам PDH сигнал 2048 кбит/с, несущий синхроинформацию, может передаваться в оба направления. При этом в цикле E1 канальный нулевой интервал (КИО) может переносить сообщение о статусе синхросигнала четырьмя битами (5, 6, 7, 8) аналогично сообщению в байте S1 заголовка MSOH цикла STM-N.

В системах связи SDH передача синхросигналов с помощью компонентных сигналов на скорости 2048 кбит/с запрещена из-за возможных значительных скачков фазы этих сигналов при согласовании указателей в транспортных блоках. Носителем синхроинформации в системах SDH является непосредственно линейный сигнал STM-N (N = 1, 4, 16, 64, 256), в системах OTH — сигнал OTUk.

При распределении тактового синхронизма внутри регионов используется принцип принудительной иерархической синхронизации (ведущий-ведомый) от ПЭГ к генераторам сетевых элементов аппаратуры SDH, АМТС и т.д. Базовая сеть ТСС обеспечивается резервированием синхросигналов, которое создается как резервными генераторами и взаимным резервированием регионов, так и маршрутами доставки синхросигналов.

Иерархия генераторов внутри зоны синхронизации имеет три уровня. Эти уровни различаются значимостью. Первый или высший уровень иерархии синхронизации создается ПЭГ. В случае, если высокий уровень невозможно реализовать или он неработоспособен, рассматривается первый уровень — уровень иерархии с первичным эталон-

ным источником (ПЭИ), который не является частью этой зоны синхронизации. Последний представляет собой источник соседней зоны синхронизации или связку «GPS–рубидиевый» эталон. Второй уровень иерархии создают ВЗГ, которые могут иметь статус транзитного или оконечного. ВЗГ устанавливаются как отдельные устройства с альтернативными входами от ПЭГ и ПЭИ, так и совмещаемыми устройствами с АМТС, электронной АТС. Третий уровень иерархии синхронизации образуют генераторы сетевых элементов ГСЭ, например, мультиплексоры SDH с источниками SETS (SDH — Equipment Timing Source). Примеры схем синхронизации сетевых элементов представлены на рис. 5.34.

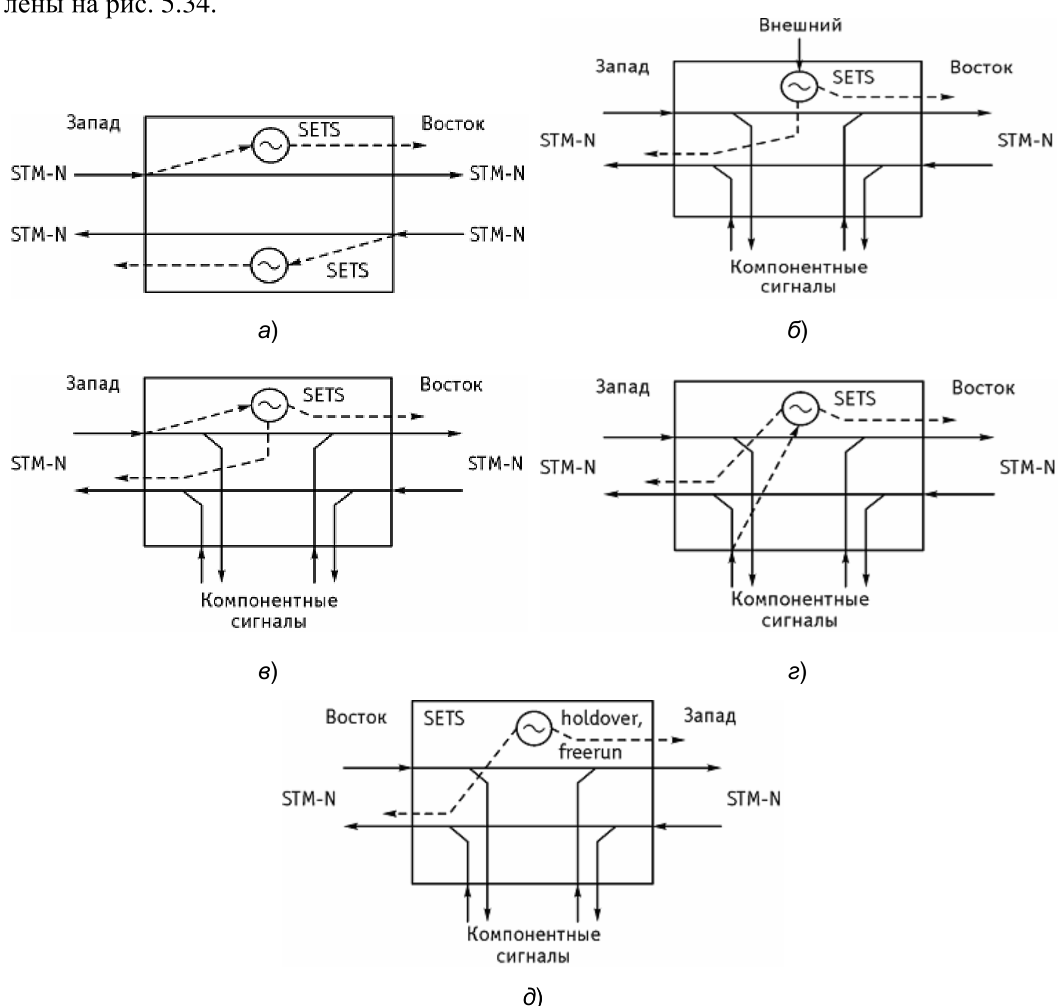


Рис. 5.34. Синхронизация регенераторов и мультиплексоров:
а) синхронизация регенератора SDH; *б*) внешняя синхронизация мультиплексора вывода/ввода;
в) внешняя синхронизация мультиплексора вывода/ввода через линейный порт;
г) внешняя синхронизация мультиплексора вывода/ввода через компонентный порт;
д) внутренняя синхронизация мультиплексора вывода/ввода SDH от встроенного задающего генератора в режиме удержания (holdover) и свободных колебаний (free run)

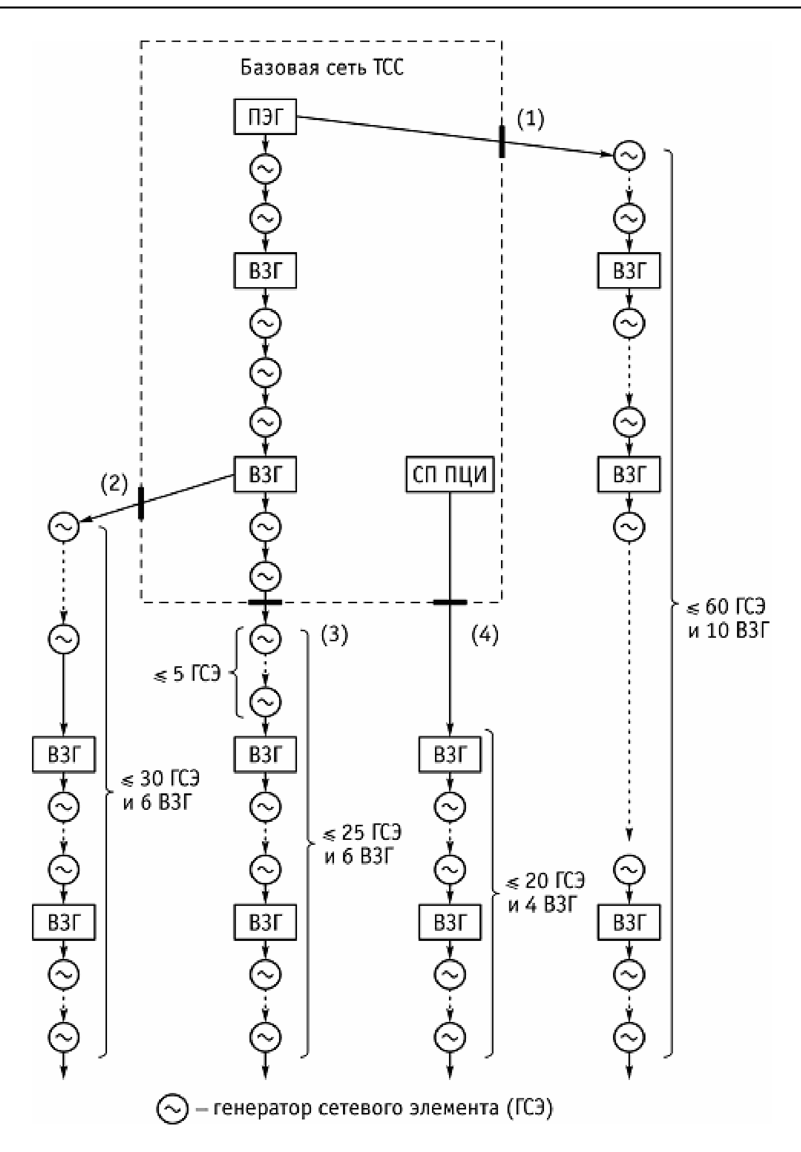


Рис. 5.35. Схема присоединения сетей операторов к базовой сети синхронизации

Для подключения различных операторов цифровых сетей к базовой сети синхронизации предложено рассматривать четыре класса присоединения (рис. 5.35) [51]:

– класс 1 — сеть оператора получает сигнал синхронизации через пассивные соединительные линии от ПЭГ базовой сети ТСС;
– класс 2 — сеть оператора получает сигнал синхронизации от ВЗГ;
– классы 3 и 4 — сеть оператора получает сигнал синхронизации от ГСЭ.

Внутри каждого региона сеть принудительной синхронизации должна строиться по иерархическому принципу в виде древовидной схемы (радиально-узловой), исключаю-

щей возможность образования петель синхронизации в любой ситуации. В качестве ведомых генераторов на АМТС, АТС и т.д. могут использоваться блоки, встроенные в аппаратуру коммутации. На узлах и станциях, на которых кроме АМТС, АТС установлено другое оборудование, нуждающееся в синхронизации.

Учитывая, что ГСЭ и ВЗГ имеют несколько входов для внешних синхросигналов, качество которых может быть независимым и одинаковым, вводится система приоритетов по использованию входов синхронизации. Уровень приоритета определяется его номером. Чем меньше номер, тем выше приоритет. Число приоритетов может быть от 0 до 254. Приоритет отмечается в таблице, размещаемой в памяти контроллера ВЗГ или ГСЭ.

Первый приоритет обычно устанавливается для входа сигнала синхронизации от ПЭГ, поступающего по самому короткому и качественному маршруту, где по пути следования синхросигнала установлено как можно меньше транзитных ВЗГ и ГСЭ.

Второй приоритет устанавливается для входа синхросигнала, поступающего от ПЭГ по другому маршруту (альтернативному и может быть не самому лучшему). Это может быть вход синхросигнала от другой зоны синхронизации или от другой базовой сети.

ВЗГ и ГСЭ могут принимать синхросигналы по входам с приоритетами 3 и 4 и т.д. Последним приоритетом в любом оборудовании синхронизации обозначается вход сигнала собственного генератора, работающего в режиме запоминания частоты внешнего синхросигнала (holdover) и собственных свободных колебаний (free run). Приоритетом можно запретить использование входа синхронизации.

Система отметки приоритетов и показателей качества направлена на повышение надежности сетей ТСС. Примеры использования системы приоритетов и показателей качества Q (см. табл. 3.8) приведены на схемах распределения тактового синхронизма линейной и кольцевых транспортных сетей на рис. 5.36 и 5.37. Приоритет может обозначаться цифровым (рис. 5.36 обозначено 1, 2, 3) или буквенно-цифровым индексом (рис. 5.37 обозначено P1, P2, P3, P4) у входов синхронизации внутри обозначения сетевого элемента. Такие обозначения часто используется в технических документах поставщиков сетевого оборудования.

Обозначение показателя качества Q наносится в схеме у линии входа синхросигнала. Исключение делается для обозначения показателя качества собственного генератора сетевого элемента или ВЗГ.

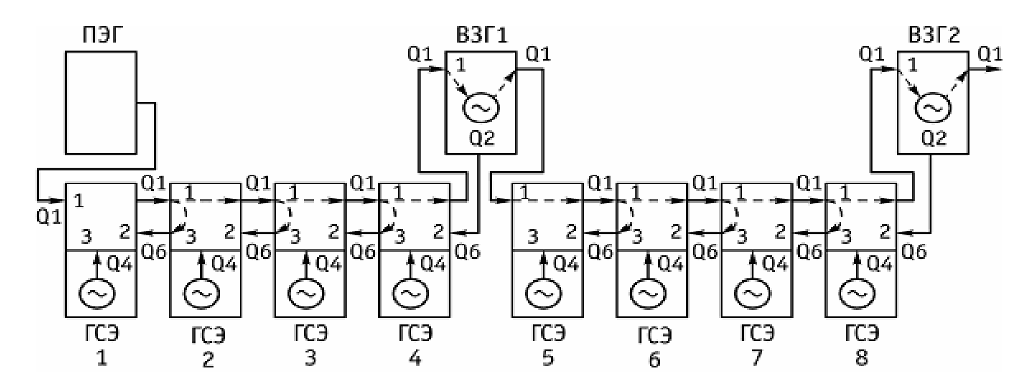


Рис. 5.36. Пример линейной цепи распределения синхронизма

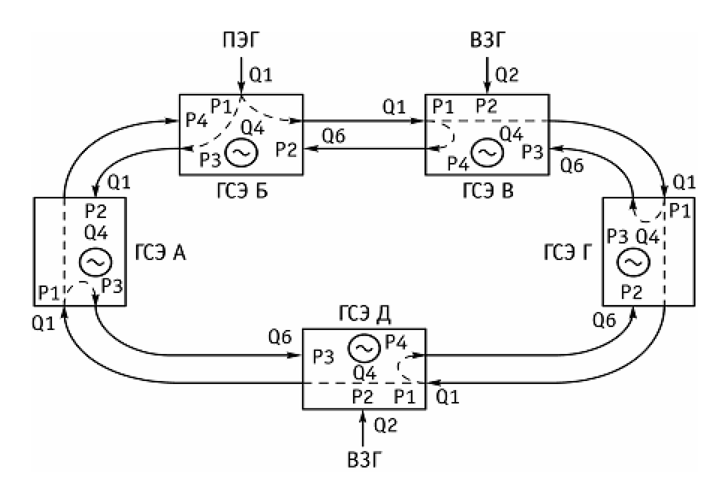


Рис. 5.37. Пример кольцевой цепи распределения синхронизма

На рис. 5.36 и 5.37 стрелками показаны пути распространения сообщения о качестве синхросигнала. В сети SDH это сообщение содержится в байте S1 заголовка MSOH (см. табл. 3.8). Все ГСЭ в нормальном режиме включены в цепь синхронизации от ПЭГ. Однако каждый ГСЭ содержит внутренний осциллятор (кварцевый источник), который используется при отсутствии высокостабильных внешних источников (рис. 5.34, *д*).

На рис. 5.37 разрыв замкнутой цепи синхронизации обеспечен в узле Б, где входящий сигнал STM-N со стороны узла А несет информацию Q6, т.е. запрет на использование линейного сигнала для синхронизации узла. Кроме того, этому входу синхронизма присвоен последний приоритет использования (P4) после собственного задающего генератора ГСЭ (P3).

Ведущим генератором в кольцевой сети в нормальном режиме является ПЭГ узла Б. В других ситуациях, т.е. при нарушении цепи синхронизации или снижении качества синхросигнала, вводятся в действие другие источники тактов и схемы распределения.

5.3.5. Принципы и методы восстановления сети тактовой синхронизации

Одним из главных требований при организации ТСС является наличие альтернативных источников синхронизма для каждого сетевого элемента. Для выбора источника синхросигнала необходим определенный алгоритм, который должен учитывать структуру ТСС и весь характер распределения сигналов. Для формирования такого алгоритма должен соблюдаться ряд принципов:

– при восстановлении синхронизации сети необходимо избегать формирования замкнутых петель, иными словами ни один из хронирующих источников не должен синхронизироваться своим собственным сигналом (такие петли нестабильны и приводят к уходу частоты тактового генератора от номинального значения);

– если тактовый генератор работает в режиме удержания, он не должен служить эталоном для хронирующего источника более высокого уровня качества;
– каждый сетевой элемент должен синхронизироваться от хронирующего источника более высокого уровня качества, чем уровень ГСЭ;
– число источников должно быть небольшим (ограниченным).

Известно несколько методов восстановления нарушенного тактового синхронизма:
– ручное переключение источников синхронизма;
– использование системы управления сетью;
– истользование таблиц приоритетов;
– наличие сообщений о статусе синхросигнала.

Ручное переключение источников синхронизма применяется только в узлах, которые имеют собственные высокостабильные тактовые генераторы (не ниже качества Q2). Такое переключение очень длительно, так как требует согласования для принятия решения. Достоинство метода состоит в том, что оператор легко разбирается с общей топологией сети и принимает решение без использования сложного и дорогостоящего программного обеспечения. Недостаток — необходимость установления связи с экспертами сети, длительный временной интервал принятия решения.

Восстановление синхронизма при помощи системы управления, представляет собой программу сетевого менеджера. Этот путь автоматизированного решения проблемы исключает оператора-человека из цепи принятия решения, что ускоряет процесс (сокращение с часов до минут) переключения. Недостаток метода состоит в высоких затратах на решение целого ряда технических и организационных задач по разработке алгоритмов управления. Метод применим в сетях с распределенными ПЭГ, в которых несколько хронирующих источников располагаются в различных сетевых узлах, и любой из них может взять на себя функции основного.

Методы восстановления синхронизма на основе таблиц приоритетов и сообщений о качестве синхронизма отличаются от выше рассмотренных высоким быстродействием. При использовании этих методов переключения синхросигналов происходят за время менее одной секунды. Быстрое переключение предполагает, что у ГСЭ с невысокой стабильностью (около 10^{-6}) в режиме удержания уход фазы не превысит одной мкс.

Идея метода таблиц приоритетов рассмотрена выше. В синхронизируемом сетевом элементе сигнал с наивысшим приоритетом выбирается в качестве основного. При этом остальные находятся в ожидании. Переключение происходит после исчезновения основного сигнала синхронизации из-за пропадания сигнала на линейном (агрегатном) интерфейсе, потери цикла передачи, при сигнале аварийного состояния или других отказах сети. Переключение на резервный синхросигнал возможно и в случае ухода фазы или частоты опорного сигнала. Переключение может быть реализовано с возвратом или без него (с ручным обратным восстановлением источника синхронизма).

Достоинство метода приоритетных таблиц состоит в его относительной простоте и высокой скорости переключения. Кроме того, принятие решения о переключении на резерв принимается только в одном узле на основе собранной информации о качестве синхронизма. При этом нет необходимости задействовать систему управления сетью. К недостаткам метода следует отнести недостаточную гибкость в поддержке различных сетевых топологий (кольцевые, сложные линейные и ячеистые) с большим числом промежуточных ГСЭ.

Места применения метода приоритетных таблиц: коммутаторы, кроссовые узлы на пересечении ячеистых сетей, в PDH сетях, работающих внутри SDH сетей.

Идея метода показателей качества рассмотрена выше. Преимущество этого метода по сравнению с методом приоритетных таблиц заключается в том, что он может применяться в сетях с любой топологией. Метод, основанный на сообщениях о качестве синхронизации, может рассматриваться как дополнение к предыдущему, поскольку обеспечивает в каждом узле сети дополнительную информацию, которая поступает в форме сообщений в заголовках сигналов STM-N или E1. Эти сообщения позволяют по-разному реагировать в сетевых элементах на различные ситуации. При этом не требуется использование системы управления. Таким образом, метод приоритетных таблиц и метод сообщений о качестве являются мощными средствами для автоматического восстановления синхронизации в сети связи. Они позволяют предотвратить создание замкнутых петель синхронизации и нарушение иерархии уровней качества хронирующих источников. Эти методы применяются, как правило, совместно. Примеры их применения демонстрируются на рис. 5.38, 5.39.

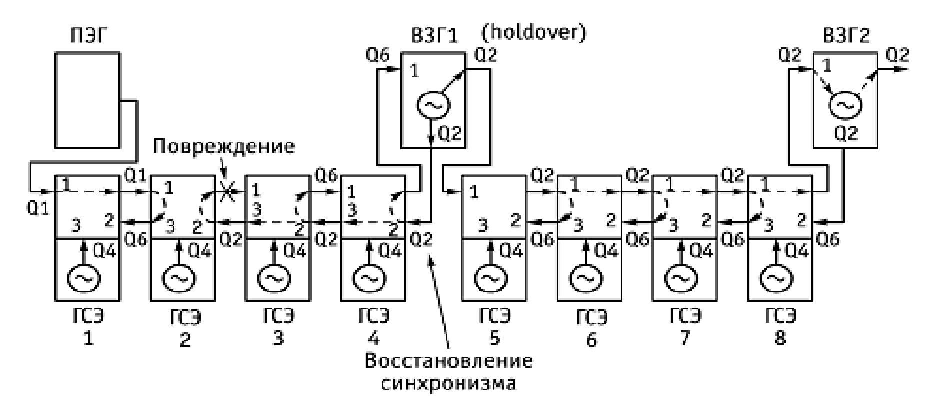


Рис. 5.38. Пример схемы восстановления синхронизма в линейной цепи при повреждении

5.3.6. Аудит сети синхронизации

Аудит или тестирование сети синхронизации проводится с целью проверки:

– правильности составления проектной схемы синхронизации транспортной сети;
– соответствия проектной схемы синхронизации, реализованной на объектах транспортной сети;
– соответствия параметров сигналов от источников синхронизации оборудования и всей системы синхронизации транспортной сети установленным нормам;
– работы сети синхронизации в нормальных и аварийных условиях при переключениях на резервные направления и/или источники синхронизации.

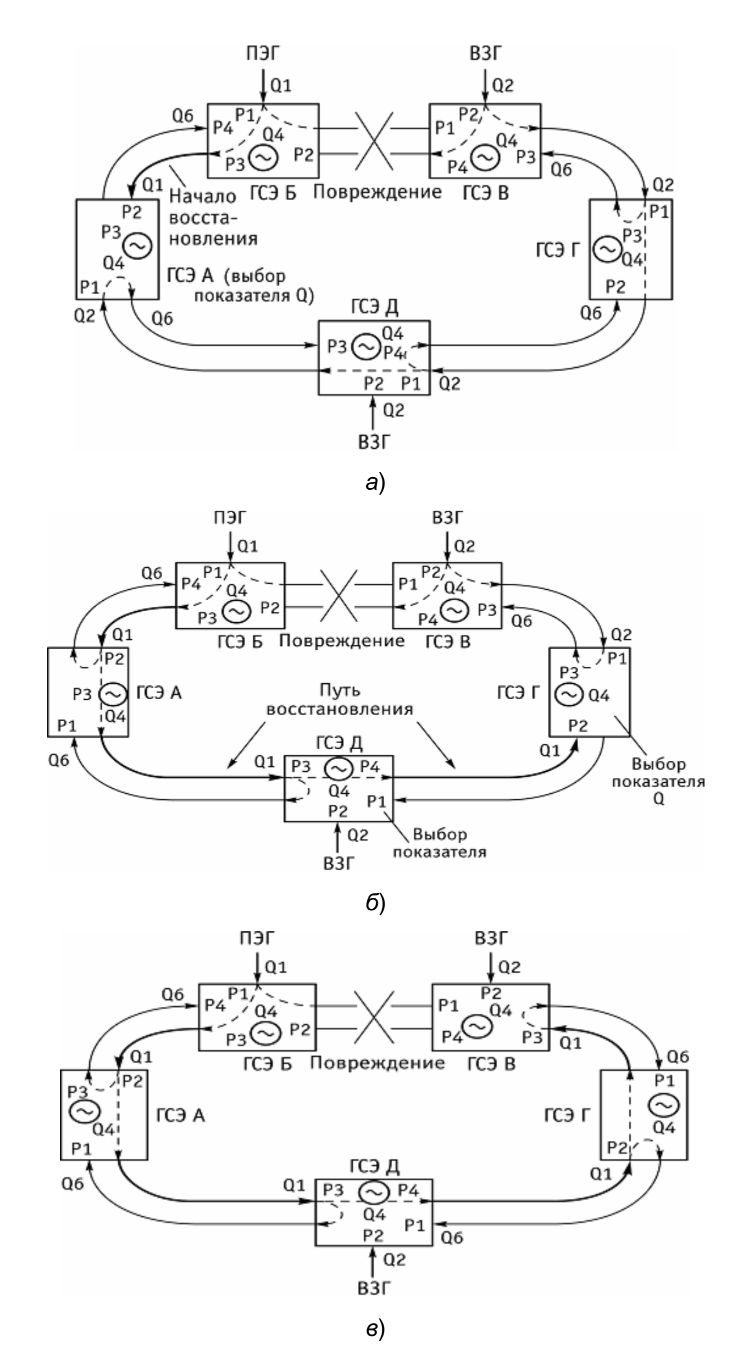


Рис. 5.39. Пример схем восстановления синхронизма:
а) при повреждении кольцевой сети. Шаг 1 — начало восстановления;
б) при повреждении кольцевой сети. Шаги 2, 3 — продолжение восстановления по выбору показателя;
в) при повреждении кольцевой сети. Шаг 4 — восстановление синхронизма от ПЭГ

Проверки необходимы потому, что разработка схем синхронизации является сложной, неформализованной и многопараметрической задачей по ряду причин:

– на схеме синхронизации должны быть определены основные и резервные источники синхронизации, направления передачи синхросигналов, установки приоритетов и уровней качества (Q1…Q6) для тактовых генераторов сетевых элементов, блоков синхронизации коммутаторов, вторичных задающих генераторов;
– для обеспечения требуемых показателей живучести (надежности) сети синхронизации схемы должны иметь сложную топологию и логическую структуру.

Эти факторы приводят к необходимости проверки разработанной схемы синхронизации перед вводом цифровой транспортной сети в действие. При этом необходимо:

– выявить возможные петли синхронизации и параметры синхросигналов, не соответствующие установленным нормам (величины джиттера, вандера);
– устранить ошибки, допущенные при проектировании, изменить в проектной схеме синхронизации ее основную и/или резервную топологию;
– провести повторные измерения по разработанной программе в необходимом объеме.

На практике процесс аудита и корректировка схем синхронизации носят итеративный характер и длятся до получения положительных результатов измерений.

5.4. Управление в транспортных сетях

Управление транспортной сетью относится к задачам, определенным общей концепцией управления сетями электросвязи и получившей название сети управления телекоммуникациями (TMN, Telecommunications Management Network). В этой концепции Международного Союза Электросвязи разработаны стандарты на построение систем управления сетями связи. Стандарты управления опубликованы в виде рекомендаций МСЭ-Т серии М.3xxx.

Ниже коротко рассматриваются общие принципы управления сетями электросвязи и применение этих принципов к управлению сетевыми элементами и транспортными сетями. Более подробную информацию по системам управления можно найти в [53].

5.4.1. Общие принципы управления сетями связи

Развитие систем управления сетями связи обусловлено рядом причин:

– сети связи становятся сложными и все более неоднородными по структуре (транспортные, доступа, мобильные и т.д.) и по используемым средствам;
– все большее распространение получают локальные и городские вычислительные сети, которое используют сети общего пользования;
– появилось большое количество компаний, оказывающих телекоммуникационные услуги, которые должны соответствовать определенным показателям качества (стандарт ISO 9000);
– должна обеспечиваться высокая надежность информационных и телекоммуникационной сетей для обслуживания нужд государства и отдельных компаний (транспортировки грузов, финансовых учреждений, образования, науки и т.д.);

– рост объемов информационного обмена между странами, создание глобальных сетей связи.

Сеть управления (*СУ*), согласно концепции TMN, обеспечивает функции управления для сетей телекоммуникаций и услуг этих сетей (рис. 5.40). Кроме того, разработаны различные концепции СУ для телекоммуникационных систем предприятий, ведомств, объединений, которые исповедуют принципы платформенного управления средствами простого протокола управления сетью SNMP (Simple Network Management Protocol), протокола общей архитектуры брокера объектных запросов CORBA (Common Object Request Broker Architecture) и др.

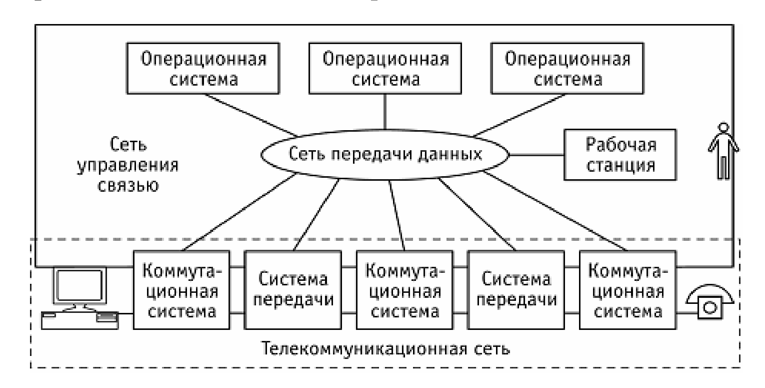


Рис. 5.40. Взаимосвязь сети управления и управляемой сети

Ниже приведены примеры телекоммуникационных сетей и услуг электросвязи, а также типов аппаратуры, которые входят в концептуальные решения по TMN:

– сети общего и частного пользования, включая цифровые (ISDN), сети подвижной связи, частные (корпоративные) телефонные, виртуальные и интеллектуальные, транспортные, сети доступа;
– сама сеть управления может быть управляемой;
– аппаратура систем передачи PDH, SDH, ATM, OTN (мультиплексоры, кроссовые коммутаторы, оптические усилители, транспондеры и т.д.) и мультисервисных транспортных платформ;
– цифровые и аналоговые системы передачи (волоконно-оптические, радиорелейные, спутниковые, кабельные);
– системы восстановления (резервирования);
– операционные системы;
– центральные, интерфейсные процессоры, контроллеры, файловые процессоры и т.д.;
– взаимодействующие вспомогательные системы (электропитание, кондиционеры, сигнализация и т.д.).

При управлении сетями связи операционные системы производят обработку всей информации, необходимой для выполнения функций управления.

Рабочие станции обеспечивают пользовательский, как правило, графический интерфейс, посредством которого обслуживающий персонал взаимодействует с сетью управления.

Сеть передачи данных предназначена для организации связи между операционными системами управления и сетевыми элементами.

Нетрудно заметить, что сеть управления самостоятельна по отношению к управляемой сети. Взаимодействие сетей реализуется через интерфейсы коммутационных станций, систем передачи и пользовательских терминалов. Для этой цели предусмотрены отдельные каналы передачи данных. В сети SDH используются каналы на основе байтов заголовков секций регенерации и мультиплексирования (байты D1…D3 образуют канал DCCr со скоростью 192кбит/с в заголовке RSOH, байты D4…D12 образуют канал DCCm со скоростью 576кбит/с в заголовке MSOH). В оптической сети OTN-OTH используются каналы на основе байтов заголовков OTUk и ODUk (два байта GCC в заголовках OTU1, OTU2, OTU3 и по два байта GCC1, GCC2 в заголовках ODU1, ODU2, ODU3 поддерживают скорости передачи соответственно 326,723, 1312,405, 5271,864 кбит/с). В транспортных сетях на основе технологий ATM и Ethernet также организуются каналы передачи данных управления, однако эти каналы виртуальные, т.е. образованы случайным потоком ячеек или кадров, и имеют переменную скорость передачи. При этом информация управления записывается в поля нагрузки ячеек и кадров, а в заголовках ячеек и кадров указывается сетевой адрес элемента сети или адрес узла управления.

Концепцией TMN предусмотрено иерархическое построение системы управления, которое имеет пирамидальную форму (рис. 5.41).



Рис. 5.41. Пирамида управления TMN

Самый нижний *уровень «Сетевые элементы»* — это управляемая сеть со всеми ее сетевыми элементами, их ресурсами и состояниями. Каждый выше лежащий уровень управления имеет более высокую степень обобщения информации управления, чем лежащий ниже.

Уровень «Управление сетевыми элементами» включает в себя контроль, фиксацию параметров функционирования, техническое обслуживание, конфигурирование применительно к отдельным устройствам сети (например, оптическим мультиплексорам, базовым станциям сотовой связи, коммутаторам каналов или пакетов). Функции этого уровня, иногда называемого нулевым, могут быть выполнены с использованием графи-

ческого терминала, стыкуемого непосредственно с сетевым элементом или удаленно, т.е. через сеть передачи данных.

Уровень «Управление сетью» обеспечивает охват функциями управления группы сетевых элементов, составляющих во взаимосвязи единую сеть со всеми ресурсами, например, оптическую транспортную сеть с секциями оптического мультиплексирования, оптическими или электрическими трактами, каналами, средствами резервирования и синхронизации.

Уровень «Управление услугами» поддерживает предоставление услуг электросвязи пользователям, т.е. в отличие от расположенных ниже уровней нацелен на потребителей услуг связи. Ключевым фактором на этом уровне является обеспечение качества услуг, привлечение потребителей новыми услугами.

Уровень «Административное управление» предназначен для поддержки функционирования компании-оператора сети связи. На этом уровне решаются проблемы инвестиций, проектов развития, кадровое обеспечение, взаимодействие с другими операторами, органами государственного управления и т.д.

В значительной степени отработаны задачи управления на первых двух уровнях и совершенствуются методы и средства управления услугами. Существенных сдвигов в автоматизации административного уровня управления не наблюдается. Для оптических транспортных сетей важнейшими являются, прежде всего, два нижних уровня управления. Однако, в связи с развитием оптических сетей ASON актуальным становится использование решений уровня управления услугами транспортной сети и автоматизации взаимодействия операторов сетей на предмет транспортных услуг.

Все функции управления в сети управления условно принято разделять на общие и прикладные. Общие функции состоят в поддержке прикладных функций и включают в себя: сбор, обработку, хранение информации управления, выдачу этой информации по запросу, отображение её в удобном формате.

Прикладные функции управления делятся на пять групп:

– управление конфигурацией (сетевого элемента, сети, услуг);
– управление качеством работы (сетевого элемента, сети, услуг);
– управление устранением неисправностей (сетевого элемента, сети, услуг);
– управление расчетами (техническими, бухгалтерскими);
– управление безопасностью (сетевого элемента, сети, услуг).

К прикладным функциям управления в транспортных сетях можно отнести и управление тактовой сетевой синхронизацией (ТСС).

Для взаимодействия в сети управления предусмотрены программные продукты, называемые «менеджер» и «агент». Менеджер и агент взаимодействуют с информационными базами управления MIB (Management Information Base), где накапливается и хранится вся информация по управляемой сети и по каждому сетевому элементу. Менеджер размещается, как правило, в операционной системе сети управления, которая загружается в сервер. Агент размещается в операционной системе каждого сетевого элемента. Менеджер посылает агенту команды управления. Агент отвечает уведомлениями об исполнении команд. Агент также может уведомлять менеджера о состояниях сетевого элемента и без команд и запросов, например в аварийных состояниях.

Для обеспечению процесса обмена управляющей информацией между менеджером и агентом используются протоколы управления, такие как CMIP и SNMP.

CMIP, Common Management Information Protocol — протокол общей управляющей информации — стандарт ISO/ITU-T, обеспечивающий выполнение сложных операций средствами интеллектуальных агентов, когда по одной простой команде от менеджера могут быть выполнены сложные последовательности операций.

SNMP, Simple Network Management Protocol — простой протокол управления сетью, определенный стандартами TCP/IP, обеспечивает выполнение как простых так и сложных операций управления, однако требует многочисленных операций обмена между менеджером и агентом.

Информация управления записывается в MIB в виде объектов. Под объектом принято понимать абстрактное описание реальных (физических) ресурсов, например, оптических интерфейсов, кроссовых коммутаторов, трактов и т.д. Объекты, помещаемые в MIB, разделены на классы управляемых_объектов, например, класс записи аварий, класс профиля присвоения серьезности аварий, класс записей об изменении значения-атрибута (состояния), класс кроссовых соединений и т.д.

Физическая структура СУ включает в себя компоненты (устройства), которые являются физической реализацией функциональных блоков управления, каналов сети передачи данных с соответствующими протоколами и интерфейсами (рис. 5.42).

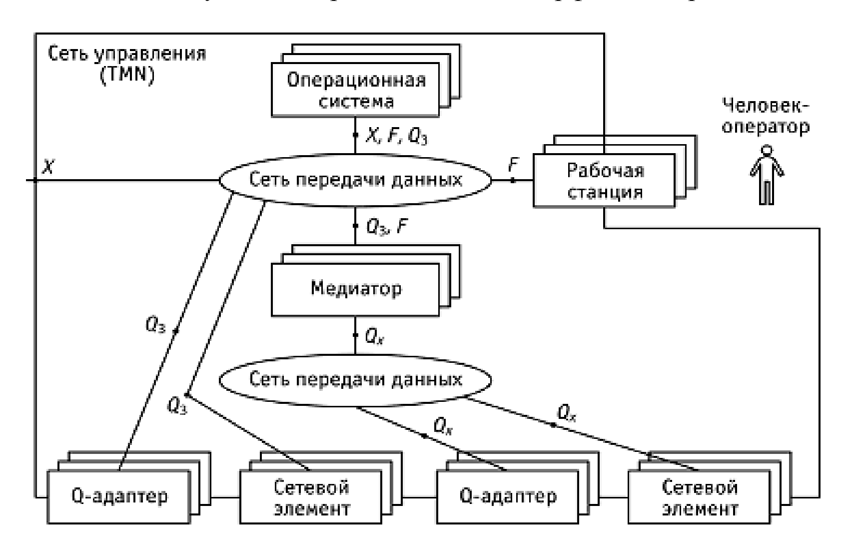


Рис. 5.42. Физическая структура СУ

Медиаторы служат для промежуточной обработки данных, их хранения, преобразования протоколов передачи данных. Они являются факультативными устройствами и могут быть реализованы как отдельными устройствами, так и в составе сетевых элементов.

Интерфейсы Q_3, Q_x, F, X являются межоперационными, т.е. представляют собой формально определенный набор протоколов, процедур, форматов сообщений и семантики, используемых для передачи информации управления. Интерфейс F представляет собой локальный физический интерфейс с короткой линией подключения, например,

RS-232. Интерфейс X формально определён для взаимодействия между операционными системами управления различных операторов сетей связи и по своему наполнению аналогичен интерфейсам Q_x и Q_3.

Пример определения интерфейсов Q_3 и Q_x приведен на рис. 5.43, где формализация может быть связана с протокольными уровнями моделей ISO/OSI (семь уровней) или TCP/IP (четыре уровня).

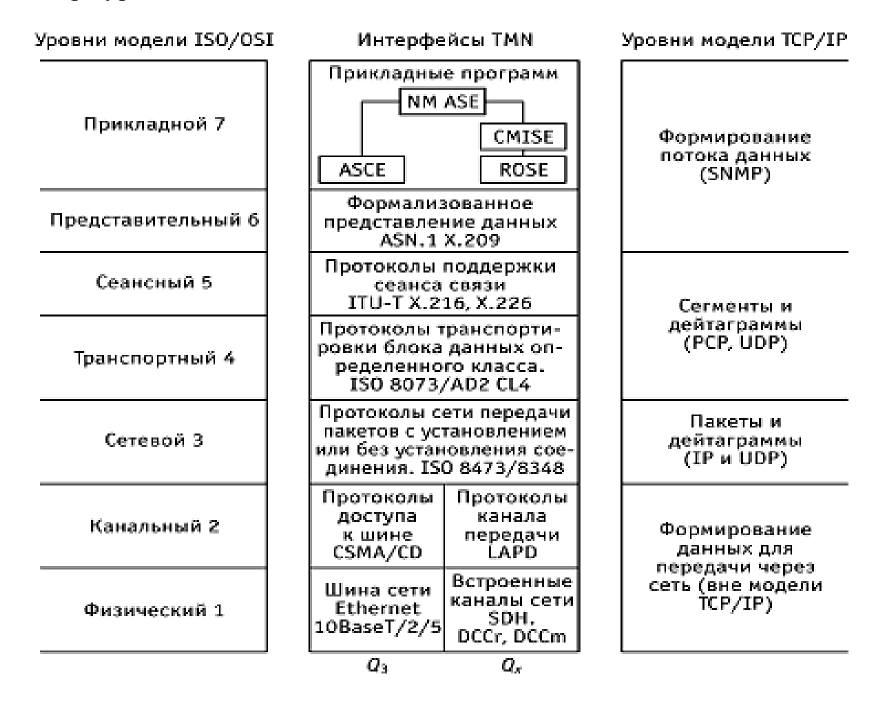


Рис. 5.43. Примеры формального определения уровней интерфейсов для сетей управления на основе протоколов ISO/OSI и TCP/IP

На рис. 5.43 использованы следующие обозначения:

– ACSE, Association Control Service Element — элемент услуги контроля ассоциации (группы);
– ASN, Abstract Syntax Notation One — абстрактное описание синтаксиса;
– CMISE, Common Management Information Services Element — элемент службы общего информационного управления;
– CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов;
– LAPD, Link Access Procedure for the D channel — процедура доступа к звену данных канала D;
– NMASE, Network Management Association Services Element — элемент ассоциации услуг сетевого управления;
– ROSE, Remote Operation Services Element — элемент обслуживания удаленных операций;

– TCP/IP, Transmission Control Protocol / Internet Protocol — протокол управления передачей / межсетевой протокол;
– UDP, User Datagram Protocol — протокол передачи дейтаграмм (без установления соединений);
– 10Base T/2/5 — стандарты локальной сети 10 Мбит/с Ethernet, ориентированные на витую пару (Т), на тонкий 50-омный коаксиальный кабель (2), на толстый 50-омный коаксиальный кабель (5).

Устройство, обозначенное на рис.5.42 «Q-адаптер», предназначено для подключения к сети управления различных видов оборудования без функций управления по TMN, например, кондиционеров, источников электропитания, датчиков температуры, датчиков пожарной сигнализации, датчиков вскрытия помещений и т.д.

Пример физической структуры сети управления транспортной сетью приведен на рис. 5.44. В этой структуре медиатор представляет собой мост-маршрутизатор локальной сети Ethernet. Он согласует управляемую транспортную сеть SDH через шлюзовый интерфейс типа Q_3 с сетью управления, представленной сервером управления и рабочими станциями управления. В управляемой сети образованы каналы передачи данных DCCr и DCCm с протокольными наборами интерфейса Qx.

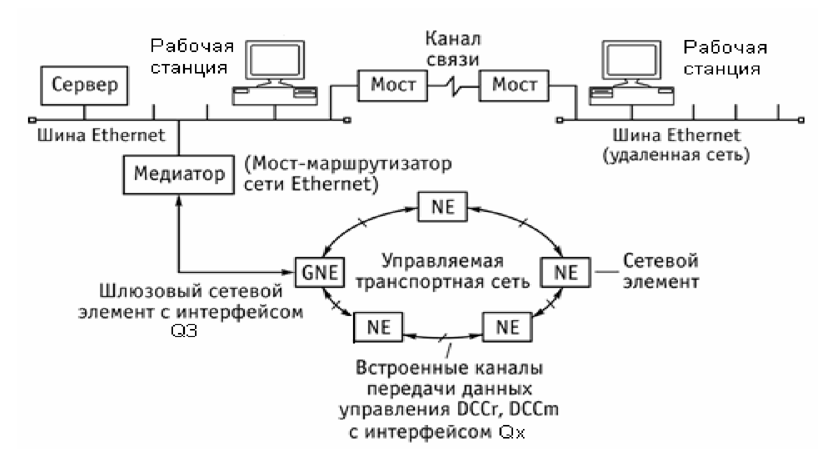


Рис. 5.44. Физическая структура сети управления транспортной сетью SDH

Сопоставив рисунки 5.43 и 5.44 нетрудно заметить, что медиатор обеспечивает согласование протоколов передачи данных (LAPD и CSMA/CD) и физических каналов с различными скоростями (DCCr — 192 кбит/с, DCCm — 576 кбит/с и Ethernet — 10 Мбит/с).

5.4.2. Функции управления транспортной сетью

Функции управления транспортной сетью, состоят в следующем:
– конфигурирование сетевых элементов;
– установка параметров электрических и оптических портов в сетевых элементах;
– коммутация кроссовых соединений в мультиплексорах;

– переключение на резерв оптических секций, оптических и цифровых трактов, соединений подсетей и оборудования;
– конфигурирование сети тактовой синхронизации;
– конфигурирование каналов передачи данных управления;
– обработка аварийных сигналов;
– контроль функционирования.

Конфигурирование сетевого элемента предполагает выполнение ряда операций:
– базовое конфигурирование сетевого элемента с пустой MIB;
– резервирование и восстановление конфигурации;
– запрос данных конфигурации по позициям сетевого элемента (тип полки, список оборудования, назначение смежных блоков, точки окончания, тактирование, выдача аварийных сигналов, каналы передачи данных управления);
– конфигурирование тактовых генераторов;
– конфигурирование входов дистанционного контроля;
– считывание состояния программного обеспечения и т.д.

Установка параметров порта на сетевом элементе подразумевает задание состояний оптических и электрических интерфейсов, интерфейсов внешней синхронизации и др.

Коммутация кроссовых соединений в сетевых элементах может быть выполнена между отдельными электрическими и оптическими интерфейсами. Для контроля качества сигнала на установленном кроссовом соединении могут использоваться точки окончания или транзитного соединения. Кроссовые соединения выполняются после полной конфигурации сетевых элементов за исключением кроссовых. При кроссировании устанавливаются однонаправленные соединения «точка–точка»», однонаправленные «точка–много точек», двунаправленные. Отмечаются точки окончания, метки сигналов, контроль транзитных соединений.

Переключение на резерв в сетевом элементе, которое предусматривается в оборудовании, выполняется с целью повышения надежности сетевого элемента и сети связи. При нарушении передачи, например, при обрыве линии (по сигналу LOS) или повышенном коэффициенте ошибок, должно быть выполнено переключение сигналов на резервную линию. Дополнительное оборудование в составе сетевого элемента может сохранить трафик в результате защитного переключения. Процедуры управления определены относительно установки резервирования, удаления резервирования, запроса конфигурации и данных о состоянии для существующих решений по резерву, изменений конфигураций резервирования, переключений между рабочими и резервными секциями мультиплексирования или сменными блоками в оборудовании. Резервирование секций и блоков может быть полным (1+1) или частным (1:n), где число рабочих секций или блоков — n, а резервных — одна или один.

В системе тактовой синхронизации предполагается конфигурирование:
– источников синхронизации сетевых элементов и сети;
– тактовых сигналов;
– внешнего тактового сигнала синхронизации.

Конфигурирование производится по показателям качества и приоритетам. Очередность приоритетов устанавливается программно в каждом сетевом элементе. Признаками переключения синхросигналов по приоритету могут служить:
– потеря сигнала (LOS);

– потеря цикла передачи (LOF);
– сигнал индикации аварии (AIS).

Качество синхросигнала кодируется и передается в STM-N в байте S1 MSOH. Для защитных переключений источников синхронизации предусмотрен таймер восстановления синхронизма (от 1 до 60 минут), который возвращает схему синхронизма после срабатывания в исходное положение.

Конфигурирование сети передачи данных DCN (Data Communication Network), которая может создаваться на основе каналов DCCr и DCCm, выполняется для обеспечения надежности передачи данных СУ. При этом создаются форматы адресов области (домена) и дополнительные адреса сетевых элементов.

При конфигурировании DCN производится маршрутизация с целью объединения сетевых элементов, в том числе и шлюзового, в единую сеть. Отображаются соединения каналов передачи данных управления.

Обработка аварийных сигналов предполагает различные виды отображения. Аварии индицируются в аппаратуре сетевого элемента светодиодами на панели состояний AIP (Alarm Interface Panel). Аварийные сигналы как уведомления отправляются в СУ для идентификации срочности и важности на экране монитора.

В базе данных СУ по сигналам от сетевых элементов могут фиксироваться степень серьезности аварии, список аварийных сигналов, производится фильтрация аварийных сигналов, подсчитываться число возникших аварийных сигналов, фиксироваться время аварий и т.д.

В базе данных сети управления может фиксироваться подробная информация относительно аварийного сигнала, например, категория аварии (оборудование, передача, противоречия в обработке сигналов, внешнее оборудование, сбой управления).

Контроль функционирования PM (Performance Monitoring) позволяет оператору СУ следить за качеством работы конкретного сетевого элемента транспортной сети. В СУ достигается непрерывность сбора статистической информации с последующей аналитической обработкой. Для этого автоматически осуществляется активизация точек контроля или измерений параметров функционирования, опрос этих точек и деактивация.

Контроль функционирования периодичен и информация фиксируется в базе данных (MIP) через 15 минут или 24 часа (контроль и фиксация возможны также каждый час, через 30 и 45 минут).

5.4.3. Стандартные элементы сети управления

Для обеспечения взаимодействия в сетях управления, совместимости сетей управления различных производителей и совместимости управления различных сетевых элементов (SDH, OTH, Ethernet, ATM и т.д.) МСЭ-Т разработал стандарты на компоненты систем управления (рис. 5.45). К ним относятся: протоколы «менеджер–агент», базы данных (MIB), языки описания баз данных и т.д.

Управление строится по древовидной схеме, упрощенный пример которой приведён на рис. 5.46. В эту схему входят: административная область (домен); путь и пользователь сети управления.

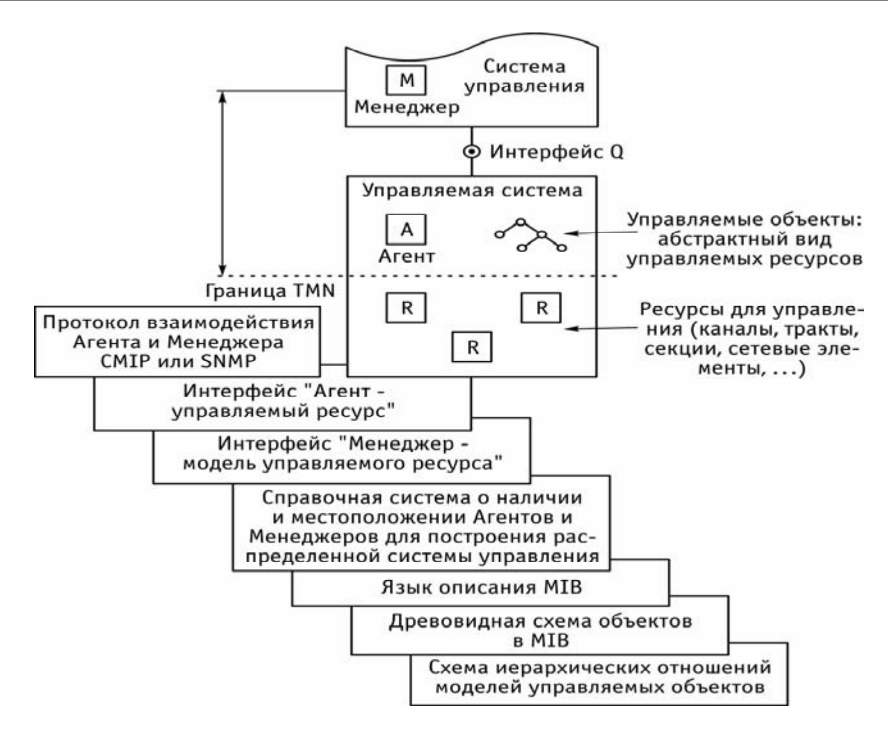


Рис. 5.45. Стандартизируемые элементы сети управления

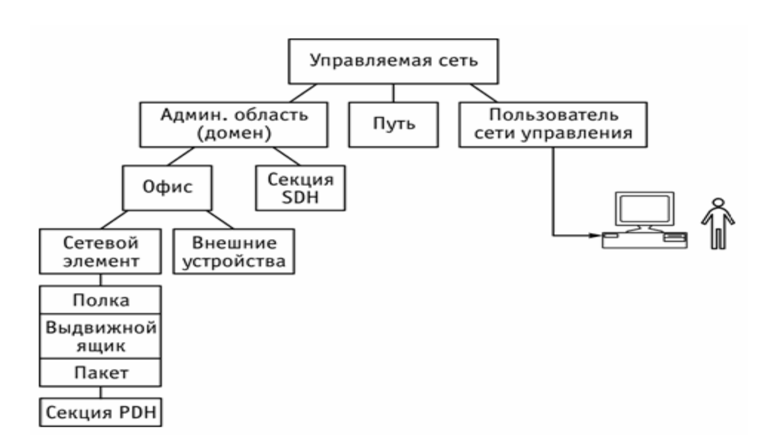


Рис. 5.46. Пример древовидной схемы объектов управления в транспортной сети SDH

В ***административную область входят*** управляемые объекты, сгруппированные по логическому принципу.

Офис представляет здание главного офиса компании.

Внешние устройства — объекты, не относящиеся к сети связи: датчики, кондиционеры, сигнализация и т. д.

Сетевой элемент транспортной сети имеет деление на классы и подклассы сетевых элементов. При этом фиксируется адрес сетевого элемента в сети передачи данных управления.

Полка, выдвижной ящик, пакеты (PDH, SDH) — аппаратные компоненты сетевого элемента технологии PDH или SDH. Комплектация полок зависит от типа сетевого элемента и его функций.

Секция SDH — отображается как физическое соединение между двумя оконечными сетевыми элементами, что служит основой сетевой топологии для управления в случае резервирования при обработке сбоев и повреждений. В состав секции входят регенераторы, не отображаемые в качестве независимых объектов.

Секция обозначается на карте соединительным символом (рис. 5.47, *б*).

Путь или тракт определяется как логическое соединение компонент, начало секции PDH – конец секции PDH; секция PDH и закрепляемый за ней временной слот секции SDH; временной слот секции SDH внутри временного слота секции SDH более высокого порядка; секция SDH внутри оптической секции OMS и т.д.

В сети управления могут регистрироваться пользователи, например, в сети управления оптическими транспортными сетями INC-100 регистрируются до 20 пользователей, каждому из которых может присваиваться приоритет доступа для управления (табл. 5.5).

Таблица 5.5. Приоритеты доступа для управления

Приоритет	Ограничения в правах доступа
1	Нет ограничений
2	• регистрация и модификация адресов Q_3 • администрирование пользователей
3	• регистрация и модификация адресов Q_3 • администрирование пользователей • использование программы передачи файлов
4	• создание кроссовых соединений • регистрация программного обеспечения • регистрация и модификация адресов Q_3 • регистрация фонового рисунка • администрирование пользователей • использование программы передачи файлов

5.4.4. Отображение функций управления через окна графического терминала

Главное окно графического терминала, как правило, отображает географическую область управления, структуру транспортной сети, линейку меню, линейку инструментов, линейку состояний, окна: «off-line», «Извещения», «Журнал событий». На рис. 5.47–5.53 представлены примеры отображения состояний управляемой сети на экране терминала (домен, структура сети и краткое содержание сообщений в линейке меню).

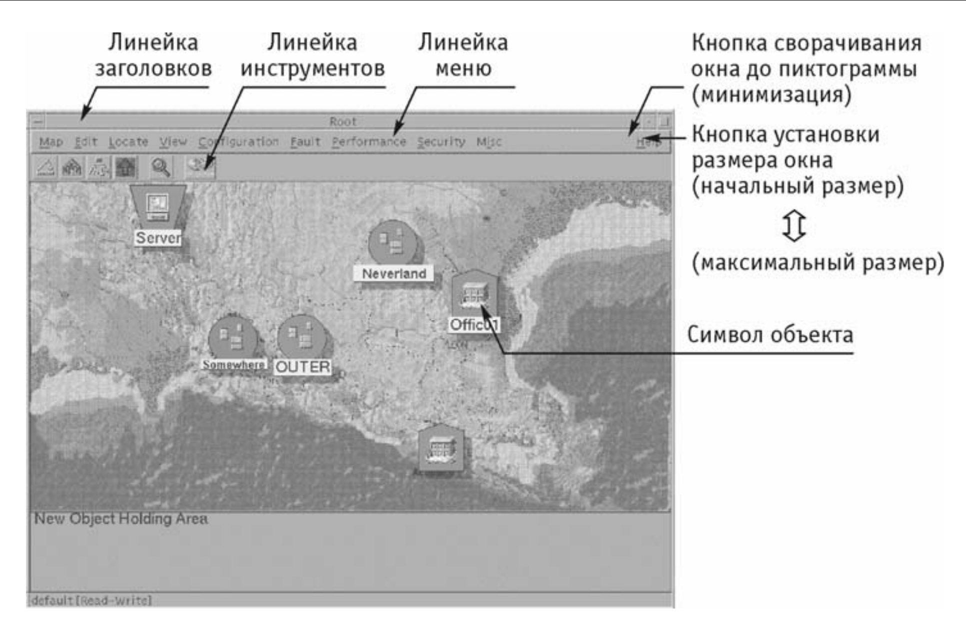


Рис. 5.47. Географическая область управления (домен)

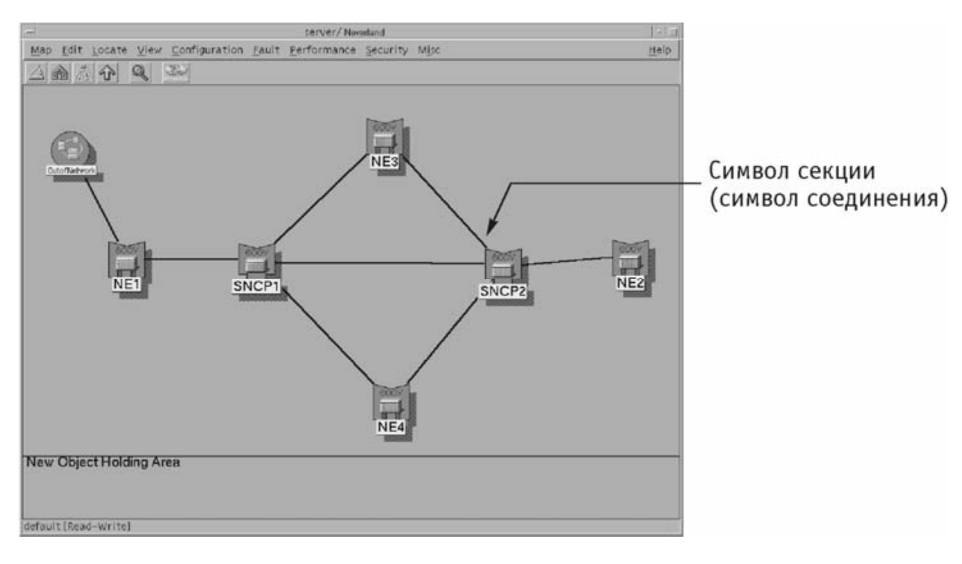


Рис. 5.48. Структура управляемой сети

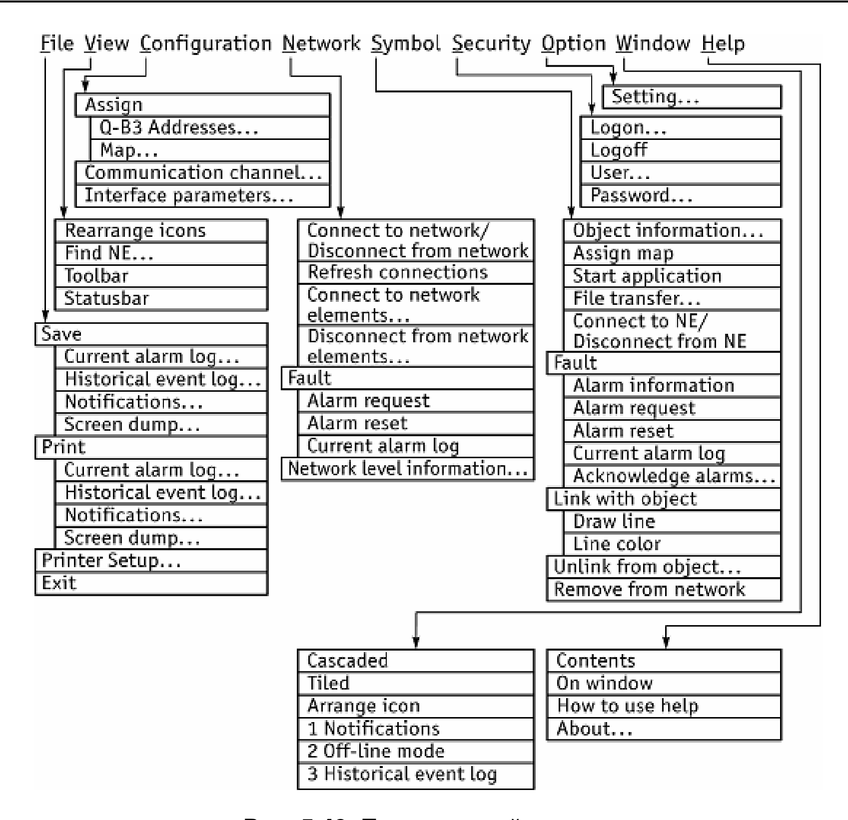


Рис. 5.49. Пример линейки меню

File	**Манипуляция программой**
Save	Сохранение файлов посредством диалогового режима Windows NT
Current alarm log...	Сохранение "Журнала текущих аварий"
Historical event log...	Сохранение "Журнала событий"
Notifications...	Сохранение сообщений окна "Извещения"
Screen dump...	Сохранение текущего окна в формате bmp
Print	Печать посредством диалогового режима Windows NT
Current alarm log...	Печать "Журнала текущих аварий"
Historical event log...	Печать "Журнала событий"
Notifications...	Печать сообщений окна "Извещения"
Screen dump...	Печать активного окна с его содержимым
Printer Setup...	Изменение и установка опций принтера
Exit	Выход из программы NE-UniGate
View	**Установки интерфейса пользователя**
Rearrange icons	Выстраивание иконок NE в окне отображения сетевых элементов
Find NE...	Поиск NE в окне отображения сетевых элементов по заданным критериям
Toolbar	Вкл. или выкл. отображение панели инструментов
Statusbar	Вкл. или выкл. отображение панели состояний

Рис. 5.50. Пример краткой информации линейки меню File, View

Configuration	**Конфигурация параметров терминала**
Assign	Регистрация адресов СЭ и фонового рисунка
Q-B3 Addresses…	Манипуляция Q-B3 адресами СЭ и локального терминала
Map…	Фоновый рисунок (карта местности сети связи)
Communication channel…	Выбор интерфейса Q-F или Q-B3
Interface parameters…	Манипуляция параметрами интерфейсов Q-F и Q-B3
Network	**Управление соединениями/аварийными сообщениями для всех доступных сетевых элементов**
Connect to network/ Disconnect from network	Установить/Разорвать соединение между терминалом оператора и сетевым элементом по выбранному каналу связи
Refresh connections	Обновить соединение (отображение на экране) между терминалом и NE
Connect to network elements…	Подключить выбранные сетевые элементы к терминалу оператора
Disconnect from network elements…	Отключить выбранные сетевые элементы от терминала оператора
Fault	Администрирование аварий
Alarm request	Обновить аварийную информацию для всех доступных сетевых элементов
Alarm reset	Сброс (удаление) всех аварийных сообщений для всех доступных сетевых элементов
Current alarm log	Отображение поиска текущих аварий для всех доступных сетевых элементов (по-умолчанию 1000 аварий)
Network level information…	Отобразить информацию о текущем уровне сетевой иерархии

Рис. 5.51. Пример краткой информации линейки меню Configuration, Network

Simbol	**Администрирование соединений и аварийных сообщений для выбранного сетевого элемента**
Object information…	Вывод на экран информации о выбранном сетевом элементе и программе по его обслуживанию
Assign map	Конфигурация фонового рисунка сетевого режима
Start application	Запуск программы по обслуживанию выбранного сетевого элемента
File transfer…	Запуск приложения для обмена файлами между терминалом и мультиплексором
Connect to NE/ Disconnect from NE	Установить/Разорвать соединение для выбранного сетевого элемента
Fault	Администрирование аварий для выбранного сетевого элемента
Alarm information	Отображает тип аварий выбранного сетевого элемента в порядке важности (severity)
Alarm request	Обновить аварийную информацию для выбранного сетевого элемента
Alarm reset	Сброс (удаление) всех аварийных сообщений для выбранного сетевого элемента
Current alarm log	Отображение списка текущих аварий для выбранного сетевого элемента
Acknowledge alarms…	Подтверждение аварий в выбранном сетевом элементе
Link with object	Соединение символов NE с помощью линий
Draw line	Нарисовать линию между выбранным и другим NE
Line color	Изменение цвета линии
Unlink from object…	Удаление линий
Remove from network	Удалить выбранный NE из окна сети

Рис. 5.52. Пример краткой информации линейки меню Simbol

Security	**Администрирование прав доступа, вход и выход из программы**
Logon…	Вызов диалогового окна "Вход в программу…" в качестве зарегистрированного пользователя
Logoff	Выход из программы
User…	Удаление, добавление или изменение прав пользователей
Password…	Изменение пароля текущего пользователя (мин. 8 - макс. 15 символов)
Options	**Установка дополнительных опций**
Setting…	Изменение параметров "Журнала текущих аварий", "Журнала истории событий" и "Конфигурации аварий"
Window	**Режим отображения открытых окон**
Cascaded	Каскадное отображение окон
Tiled	Окна отображаются индивидуально, не перекрывая друг друга
Arrange icon	Выстроить иконы и минимизированные окна в Главном окне программы
1 Notifications	
2 Off-line mode	
3 Historical event log	
Help	**Help в стиле Windows NT**
Contents	Содержание Help
On window	Help для текущего окна (вызывается клавишей F1)
How to use help	Справка об использовании Help
About…	Короткая справка о программе

Рис. 5.53. Пример краткой информации линейки меню Security, Option, Window, Help

Даже краткое ознакомление с возможностями линейки меню управления показывает насыщенность операциями контроля и манипуляциями управляемой сетью. Глубина понимания задач управления определяется подготовленностью специалиста. При этом интерфейс «человек–машина» выполнен на базе широко распространенной операционной системы Windows, что позволяет в короткие сроки операторам сети управления осваивать основные приёмы управления, вмешиваться в аномальные состояния транспортной сети и вводить необходимые коррективы.

5.5. Автоматически коммутируемые оптические транспортные сети ASON/ASTN

Развитие транспортных оптических сетей переходит на новое направление, получившее изначально название «автоматически коммутируемые транспортные сети» (ASTN, Automatic Switched Transport Network), а в дальнейшем «автоматически коммутируемые оптические сети» (ASON, Automatic Switched Optical Network). Эти названия по своей сути равнозначны и введены в соответствии с соответствующими рекомендациями МСЭ-Т. Появление этих рекомендаций — составная часть глобальной стратегии развития телекоммуникаций — сетей следующего поколения (NGN, Next Generation Networks).

Транспортная инфраструктура выстраивается с учетом текущего и перспективного трафика услуг. В этом смысле основным становится трафик IP, который может обеспечивать услуги реального и нереального времени, к которым относят и традиционные

голосовые услуги, и широкополосные, и достаточно большой спектр новых услуг (цифровое телевидение и радиовещание, видео по запросу и т.д.). При этом транспортные сети должны очень быстро реагировать на запросы по обслуживанию. Такие возможности создаются за счет внедрения в транспортные сети протоколов сигнального управления, которые построены на общей многопротокольной коммутации по меткам GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching) [64]. Оптическая транспортная платформа на основе ASON/ASTN и GMPLS, как часть общей мультисервисной инфраструктуры, обеспечит снижение затрат операторов на предоставление новых услуг при высокой надежности, гибкости и открытости транспортной сети.

5.5.1. Общая структура ASON/ASTN

Общая структурная модель ASON/ASTN (в дальнейшем просто ASON) определена рекомендациями МСЭ-Т G.807, G.8080 (рис. 5.54). Структура модели представлена тремя плоскостями.

Плоскость оптической транспортной сети (*OTN*) с соответствующими коммутаторами (Switch) и интерфейсами пользователей UNIdata (User Network Interface data).

Плоскость сигнального управления (*ASON*) с контроллерами ООС (Optical Connection Controller — контроллер оптических соединений) и каналами передачи данных, межузловыми интерфейсами NNI (Network-Network Interface), сигнальными интерфейсами пользователей (клиентов) UNIcontrol, интерфейсами управления соединениями в коммутаторах CCI (Connection Control Interface).

Плоскость сетевого административного управления с интерфейсом управления NMI (Network Management Interface).

Общая структура ASON не является обособленной структурой определенной области или домена. Сети ASON могут строиться из отдельных доменов с налаженными взаимодействиями через внешние интерфейсы транспортной и сигнальной сетей IrDI (Inter Domain Interface) или E-NNI (External NNI).

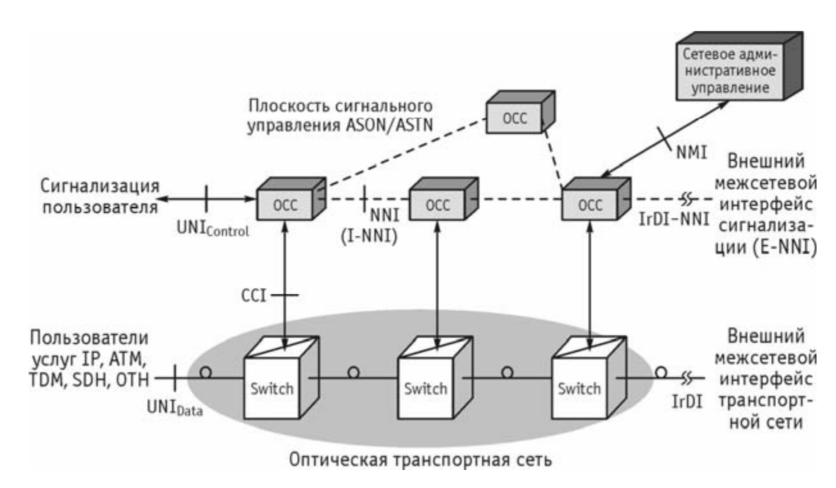


Рис. 5.54. Общая структурная модель ASON/ASTN

5.5.2. Логическое построение ASON

Сеть ASON предназначена для коммутации оптических связей (оптических волокон, оптических модулей, оптических волновых каналов, цифровых каналов) в пределах оптической транспортной сети под управлением ее собственной сигнальной сети.

Логическое построение сети ASON определяет наличие трех отдельных логических плоскостей:

– *оптическая транспортная плоскость* предусматривает функции, требуемые для транспортировки сигналов пользователей (клиентов) ASON, например по поддержке коммутаций оптических каналов;
– *плоскость сигнального управления* ASON предусматривает функции по установлению непрерывных связей для сигналов пользователей с такими свойствами, как продолжительность, время связи, защита соединения, задание полосы частот и т.д. Указанные свойства плоскости сигнального управления определяются пользователем непосредственно в процессе установления связи через сигнальную сеть. Приемлемым решением для реализации возможностей этой плоскости служит протокол GMPLS;
– *плоскость административного управления* связана с транспортной плоскостью и плоскостью сигнального управления выделенными каналами. Функциональную основу этой плоскости составляют базовые положения концепции управления телекоммуникациями (TMN). На этом основании ASON включает систему сетевого управления NMS (Network Management System). Управление классифицируется как управление конфигурацией транспортной сети, безопасностью, повреждениями и т.д.

Функции трехуровневой модели представлены в двух различающихся структурах:

– физическом ядре и границе сети;
– системе взаимодействия клиент–услуга (или клиент–сервер).

Основные функции ASON, главным образом, связаны с коммутацией оптических каналов в пределах сети. Коммутация может быть инициирована как плоскостью сигнального управления по запросу клиента, так и плоскостью административного управления.

Ниже рассмотрены функции ядра сети.

Поддержка открытой топологии сети. Эта функция обеспечивается протоколами маршрутизации при достаточной информации о топологии и ресурсах сети для определения маршрута передачи трафика пользователя. Для реализации этой функции элементы сети увязаны в физическую структуру. Каждый сетевой элемент имеет базу данных, где фиксируется информация о физической и логической структуре других сетевых элементов. Этой информацией обмениваются сетевые элементы через межсетевые интерфейсы NNI.

Поддержка оптической маршрутизации. Эта функция определяет маршрут от узла-источника до узла-назначения с определенным набором ограничений (ретрансляций, полосы частот и т.д.).

Передача сообщений сигнализации. Это набор функций, связанных с сигнальной сетью, который позволяет поддерживать обмен сигналами и сообщениями управления через определенные интерфейсы между сетевыми элементами, между сетями админист-

ративного сигнального управления, между ASON и ее клиентами. Передача сигнальных сообщений включает функции по обработке соединений: установление, разрушение, модификацию.

Непрерывная защита/восстановление. Представляет собой набор функций, вовлеченных в восстановление непрерывной оптической связи, на которую воздействует отказ. Эти функции состоят в обнаружении отказа, оптической маршрутизации, установлении тракта защиты, автоматическом непрерывном восстановлении. Например, в случае отсутствия защитной функции (1+1) для оптического соединения и обнаружении отказа этого соединения происходит активизация функции стандартной перемаршрутизации. При этом производится определение и установка нового маршрута.

Поддержка автоматически устанавливаемого непрерывного оптического канала OCh, подготавливаемого к работе, выполняется по запросу пользователя сетью административного управления NMS или сигнальной сетью, активируемой пользователем через UNI. Функция включает процедуры: определение маршрута для канала, его установление с резервированием ресурса (например, полосы частот) и коммутации в узлах.

Управление узлом и его связями. Представляет собой набор функций по управлению состоянием сетевого узла (СУ), статусом портов, возможностями по поддержке коммутации (оптической, электрической, пакетной и т.д.). Эти функции записываются в базе данных управления сетевого узла.

Поддержка безопасности сетевых узлов и сети. Рассматривается как набор функций для обеспечения безопасности в СУ и в сети услуг и их заданного качества QoS. Эти функции должны быть предусмотрены в каждом СУ (на границе сети и в его ядре).

Функциональные возможности на границе ASON состоят в следующем.

Пограничные узлы ASON, обозначаемые в стандартах и технической литературе EN (Edge Nodes), фиксируют входящие и исходящие точки для потоков трафика клиентов и оконечные точки оптических каналов. Потоки трафика клиентов, исходящие в оптическую сеть от маршрутизаторов IP, коммутаторов ATM, кроссовых коммутаторов и мультиплексоров SDH, направляются на входы EN. С другой стороны, межузловой трафик поддерживают оптические каналы OCh, которые коммутируются в узлах оптической кроссовой коммутации OXC и заканчиваются в пограничных узлах.

Система управления сетью NMS дает инструкции о том, как потоки трафика пользователей должны обрабатываться в пограничных узлах, т.е. как согласуются возможные запросы на услуги и возможности сети ASON, что в итоге определяет функциональные возможности пограничных узлов. При этом транспортные возможности приспосабливаются к запросам.

На рис. 5.55 отображен перечень услуг транспортной сети по согласованию в пограничном узле.

Функциональные возможности физических интерфейсов должны обеспечить адаптацию циклов или полосы пропускания между пользовательскими устройствами и пограничными узлами ASON. Процесс адаптации может проходить с использованием показателей качества QoS и характеристик классов обслуживания CoS при определении совместимости. К параметрам качества QoS можно отнести: готовность обслуживания; надежность связи; время связи; время восстановления; метод защиты; приоритет; производительность; норму битовых ошибок; задержки и изменения задержек.

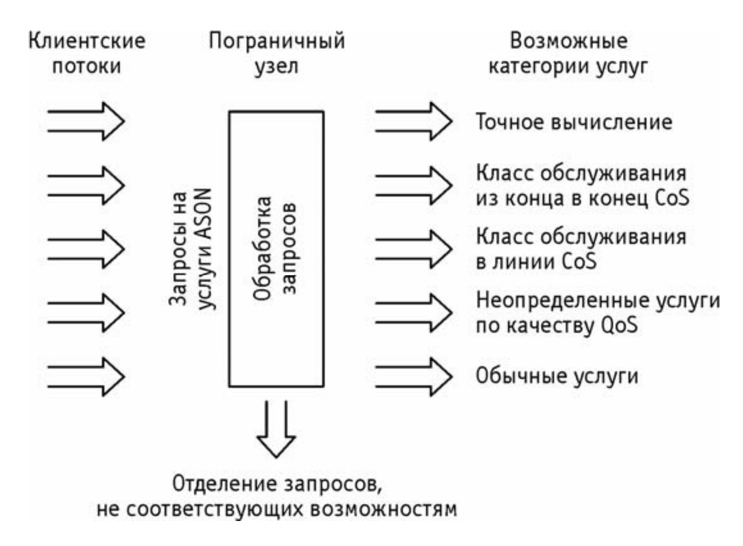


Рис. 5.55. Услуги по согласованию пограничного узла

Функциональные возможности для пользователя связаны с возможностями сигнализации и ресурсами транспортной сети OTN.

Сигнальное управление ASON обеспечивает необходимые возможности для обработки оптического канала из конца в конец и предоставление его пользователю. Сигнализация поддерживается пользовательским интерфейсом UNI и через этот интерфейс осуществляются:

– открытие услуги;
– определение транспортных услуг для индивидуальных клиентов;
– назначение адреса;
– определение угрозы безопасности и т.д.

При обработке запроса через UNI могут обслуживаться запросы на установку связи, разрыв связи, модификацию.

По отношению к пользователю сеть OTN обеспечивает кроссовую коммутацию, выделение и ввод оптических каналов, группирование трафика пользователей в цифровые потоки стандартного формата, преобразование длины волны, оптическое мультиплексирование/демультиплексирование, защиту соединения при повреждениях и т.д.

5.5.3. Построение сигнальной сети и ее функции

Сигнальное управление в ASON охватывает все участки транспортировки: секцию передачи OTS, секцию мультиплексирования оптических волн OMS, отдельные волны или оптические каналы OCh и т.д. В отличие от сетей передачи данных сети ASON имеют специфические особенности, отразившиеся в сигнальном управлении:

– ASON служит в качестве основы для переноса пользовательского трафика; при этом структура сети не зависит от динамики трафика, его переключений и т.д.;

– тракты ASON могут принадлежать различным группам постоянных, полупостоянных и временно создаваемых связей;
– в ASON могут предусматриваться услуги с различными показателями качества и соглашениями по услугам CoS/SLAs (Class of Service/Service Level Agreement);
– каналы передачи включают ряд возможных технологических ограничений, которые связаны с модуляцией, контролем и исправлением ошибок;
– тракты передачи данных, например LSP (Label Switched Path — тракт, коммутируемый по меткам), односторонние, однако на основе двух однонаправленных трактов организуются двунаправленные каналы;
– проблемным является преобразование волн, т.е. волновой канал может быть реализован на разных участках разными волнами. При этом необходима оценка каждого участка на предмет пригодности по уровням помех, искажений, передачи и т.д.

Ключевыми составляющими ASON признаны маршрутизация, сигнальные сообщения и поддерживающие их протоколы.

Маршрутизация, т.е. выбор наилучшего пути в сети, предполагает достаточно полное представление о топологии и ресурсах сети при составлении заявки на установление соединения.

Для реализации заявки должна существовать информационная база маршрутизации каждого сетевого элемента во взаимосвязи с другими сетевыми элементами. При этом особенностью оптической маршрутизации является то, что она тесно связана с устройствами физического уровня (волокнами, волновыми каналами, переключателями волн, конверторами волн, оптическими регенераторами и т.д.).

Информация по маршрутизации подразделяется на *статическую* и *динамическую*.

Статическая информация необходима для поддержки канала. Она включает сведения о соседнем узле с точки зрения его ресурса (полосы пропускания, скоростного режима, логического состояния). Эта информация фиксирована и редко изменяется.

Динамическая информация необходима для организации канала сигнализации, поддержки таблиц маршрутизации и готовности к установлению соединения.

Топология сети, прописанная в сетевых элементах ASON, может модернизироваться (обновляться) через определенное время, что обусловлено необходимостью развития сети и поддержания в исправном состоянии каждого сетевого элемента.

Маршрутизации в сети ASON реализуется на основе различных парадигм: иерархической, пошаговой, от источника. Эти парадигмы абстрагированы от различий в представлении информации маршрутизации.

Маршрутизация происходит после того, как сеть разделена на зоны маршрутизации и назначены необходимые сетевые ресурсы (рис. 5.56). Оператор может выбрать вариант разделения своей сети, исходя из собственной политики маршрутизации, которая включает в себя такие критерии, как география, административное управление, технология транспортной сети и др. По решению оператора домены сети могут рассматриваться в качестве зон маршрутизации.

Услуга, предоставляемая зоной маршрутизации (например, выбор пути), реализуется исполнителем маршрутизации RP (Routing Performer) (объединением контроллеров маршрутизации), а каждый исполнитель маршрутизации отвечает за одну зону маршрутизации. Исполнитель RP поддерживает функции определения пути, согласующиеся с одной или большим числом парадигм маршрутизации.

Зоны маршрутизации могут иерархически входить одна в другую, а отдельный исполнитель маршрутизации связан с каждой зоной маршрутизации в иерархии маршрутизации. Для каждого уровня иерархии могут использоваться исполнители маршрутизации, которые поддерживают различныеы парадигмы маршрутизации. Исполнители маршрутизации реализуются путем создания распределенных контроллеров маршрутизации.

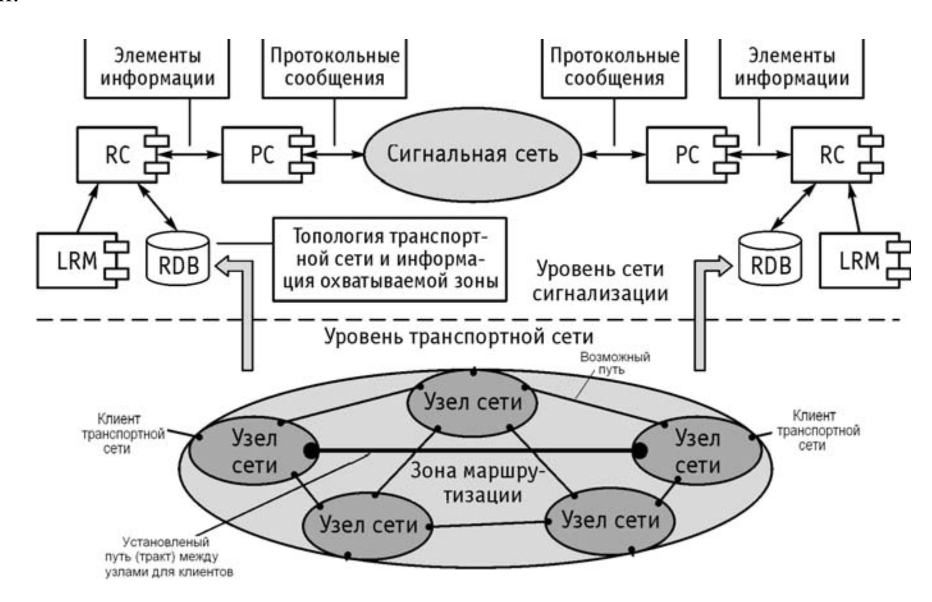


Рис. 5.56. Схема взаимодействия функциональных компонентов зоны маршрутизации транспортной сети и сигнальной сети ASON:
RC (Routing Controller) — контроллер маршрутизации; PC (Protocol Controller) — контроллер протокола; LRM (Link Resource Manager) — управление ресурсом линии; RDB (Routing Information Database) — база данных информации маршрутизации.

Контроллер маршрутизации RC обеспечивает интерфейс услуги маршрутизации, т. е. точку доступа к услуге. Он также отвечает за координацию и распространение информации маршрутизации. Интерфейсы контроллера маршрутизации обеспечивают услугу маршрутизации через эталонные точки NNI.

Политика маршрутизации может быть реализована посредством различных механизмов, например путем использования различных протоколов. Контроллер RC может быть реализован как кластер распределенных объектов. Такой кластер называется доменом управления маршрутизацией RCD (Routing Control Domain). Последний является абстрактным объектом, который скрывает подробности распределения внутри кластера. Он предоставляет распределительные интерфейсы с характеристиками, идентичными характеристикам распределительных интерфейсов RC.

Маршрутизаторы содержат не зависящие от протокола компоненты (LRM, RC) и специфические компоненты протокола. Контроллер протокола обрабатывает необходимую абстрактную информацию для маршрутизации, а также специфические сообщения протокола в соответствии с эталонной точкой, через которую производится обмен ин-

формацией, и пересылает примитивы маршрутизации контроллеру маршрутизации. Контроллер RC поддерживает обмен информацией маршрутизации с RC-партнерами и формирование ответов на запросы выбора пути благодаря взаимодействию с базой данных информации маршрутизации (RDB).

RDB — это хранилище информации о местной топологии, сетевой топологии и другой информации, обновление которой производится в рамках маршрутизации. RDB может содержать информацию для нескольких зон маршрутизации. Контроллер маршрутизации имеет возможность доступа для просмотра RDB.

Администратор ресурсов линии (LRM) поставляет контроллеру маршрутизации всю информацию о любом оптическом канале. Он информирует RC о всех изменениях состояния оптических каналов, которыми он управляет.

Контроллер PC преобразует примитивы контроллера маршрутизации в протокольные сообщения конкретного протокола маршрутизации.

В типичном варианте входные данные для пошагового выбора пути включают в себя следующие сведения: топологическое окружение, пункт назначения, узел источника, набор ограничений, указывающих порядок действий в случае возникновения множественных выходных вариантов.

Пошаговый выбор пути выполняется в каждом узле для получения следующего канала на пути к пункту назначения. Если в качестве входных данных предоставляется узел источника, то это подразумевает, что выбор пути может производиться на основе пары источник/пункт назначения, а не только на основе пункта назначения. Также это означает, что адрес источника включается в контекст принятия решения о следующем транзитном участке.

Пошаговый выбор пути производится несколько раз из различных точек сети, и каждый раз входные параметры должны быть одними и теми же. Необходимо также, чтобы набор выполненных реализаций выбора пути дал путь, который не содержит в себе петель.

Маршрутизация от источника и иерархическая маршрутизация имеют аналогичные требования к выбору пути.

Входные данные для выбора пути с *маршрутизацией от источника* включают в себя следующие сведения: топологическое окружение, пункт назначения, источник, ограничения на разнесение выходных путей, ограничения на включение каналов в выходные пути, ограничения на исключение каналов, метрику минимизации, определяющую метрику канала, которую функция выбора пути должна минимизировать для выходных путей и т.д.

Контекстом для выбора пути с маршрутизацией от источника обычно является узел источника. Это может быть также промежуточный узел в определяемом пути. Он может располагаться на границе зоны маршрутизации, где выполняется функция выбора пути для этой зоны маршрутизации с целью получения подробных сведений о том, как пройти через эту зону маршрутизации.

Выбор пути с иерархической маршрутизацией начинается в верхней части иерархии и определяет последовательность подсетей (подсеть цифровых каналов, подсеть оптических каналов и т.д.), через которые может быть найден путь между узлом источника и узлом назначения. Для каждой из задействованных подсетей требуется дальнейший выбор пути, который определяется возможностями внутренней топологии подсе-

ти. По сути, происходит обращение до тех пор, пока функции маршрутизации не предоставят необходимые каналы.

Конечный результат этих процедур также изменяется в зависимости от парадигмы маршрутизации. Результаты формирования пути схожи между собой при выборе пути с маршрутизацией от источника и с иерархической маршрутизацией, в то время как от пошаговой маршрутизации в качестве конечного результата требуется только следующий канал. Конечными результатами при такой классификации могут быть: канал следующего транзитного участка, одиночный путь, два или более путей.

5.5.4. Протоколы сигнальной системы ASON

Для реализации сигнальной системы ASON предложены два протокола PNNI и GMPLS.

PNNI, Private Network Node Interface — частный интерфейс сетевого узла, предложен в рекомендациях форума ATM в 1995 году в качестве сигнального протокола мультисервисных сетей с асинхронным режимом передачи; также этот протокол предложен МСЭ-Т для распределенной сигнальной системы ASON (G.7713.1).

Общая многопротокольная коммутация по меткам GMPLS реализуется в версиях протоколов CR-LDP и RSVP-TE, предусмотренных рекомендациями МСЭ-Т G.7713.2 и G.7713.3.

Эти протоколы стали основой сигнальной системы сети ASON. Для поддержки оптической коммутации предложено решение MPλS — многопротокольной коммутации волн по меткам (буквенный знак L заменён в GMPLS знаком λ — Lambda). Такая коммутация предполагает использование концепции вложенных путей (маршрутов) с коммутацией по меткам LSR (Label-Switch Router). В иерархической системе меток трактов LSP (рис. 5.57) на верхней ступени находятся волоконно-оптические интерфейсы FSC (Fiber-Switch Capable). Ниже следуют волновые или оптические канальные интерфейсы λSC или LSC (λ — Lambda Switch Capable), затем интерфейсы с временным делением/группированием TDM (Time-Division Multiplex), и, наконец, интерфейсы с возможностью пакетной коммутации PSC (Packet Switch Capable). Как нетрудно заметить, LSP, который имеет на входе и выходе интерфейс PSC, может составляться цепями вложения с другими LSP.

Для передачи сигнальных сообщений в ASON предложено использование общих меток. Общая метка содержит достаточно информации, чтобы позволить принимающему узлу программировать коммутацию вне зависимости от типа соединения.

Запросы меток необходимы для поддержки требуемых коммуникационных характеристик LSP.

Структура общей метки представлена на рис. 5.58. Полная емкость поля общей метки запроса составляет 32 бита. Биты 0…7 содержат тип кодирования (например, метке 2 соответствует кодирование для Ethernet, метке 5 соответствует кодирование для SDH и т.д.). В битах 8…15 кодируется тип коммутации, которая должна осуществляться в заданном канале (например, метке 150 соответствует коммутация LSC, Lambda-Switch Capable). В битах 16…31 кодируется тип поля данных (например установление соединения для сети Ethernet кодируется меткой 33). Обобщенная метка несет в себе только

метку одного уровня, т.е. она не является иерархическим объектом. Для сети из нескольких уровней (рис. 5.57) требуется несколько уровней меток. При этом каждый LSP должен формироваться отдельно и метка может иметь переменную длину.

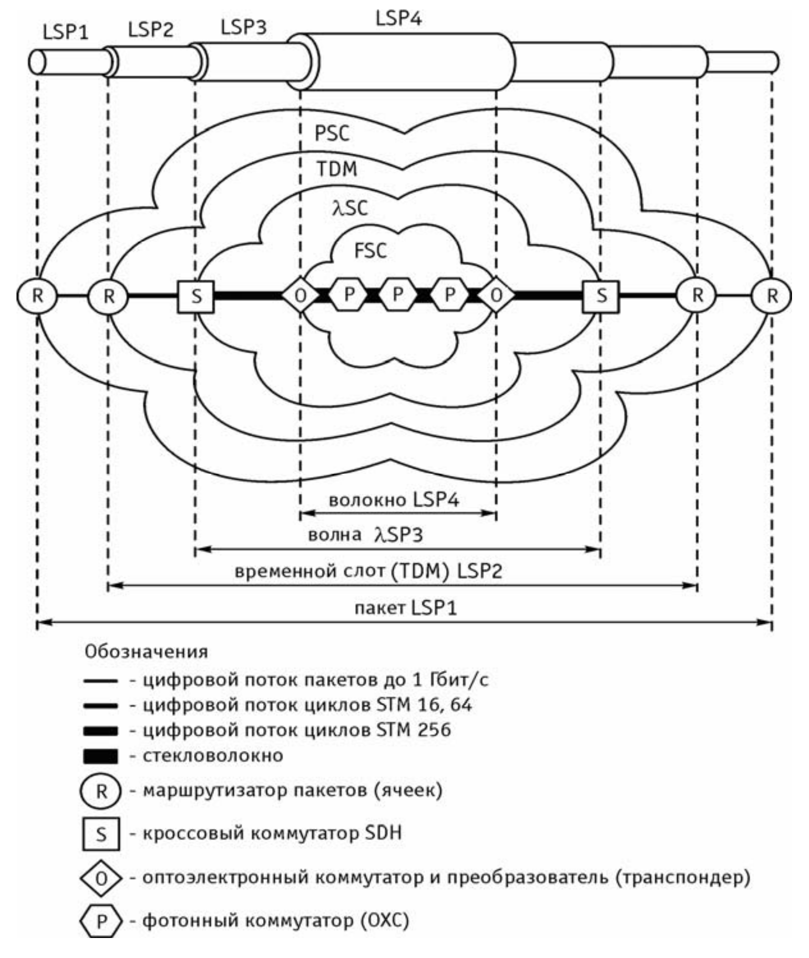


Рис. 5.57. Иерархия меток GMPLS для оптической сети ASON

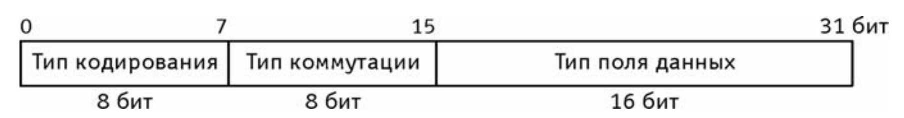


Рис. 5.58. Поле общей метки запроса

Так в зависимости от участка оптической сети идентифицируются данные о волокне в пучке, волновой канал в диапазоне волокна, волновой диапазон из набора диапазонов волокна. Например, метка длиной 32 бита указывает на идентификатор канала наименьшей длины волны в определённом диапазоне волн, а конечная метка длиной тоже

32 бита указывает на идентификатор канала наибольшей длины волны в этом диапазоне (рис. 5.59). Таким образом, метка содержит три блока по 32 бита.

0 … 31 бит
Идентификатор волнового диапазона
Начальная метка
Конечная метка

Рис. 5.59. Общая метка для коммутации по длинам волн

Для сообщений нижележащим узлам предпочтительных меток от вышележащих узлов используется предложенная метка (см. рис. 5.57, где самый нижний узел R, над ним узел S, далее в порядке следования O, P). Таким образом, вышележащий узел может начать конфигурирование оборудования с использованием предложенной метки до того, как эта метка будет передана нижележащим узлам. Это решение может повысить скорость процедур установления соединения и восстановления соединения при сбое или отказе.

С целью ограничения выбора меток для узла «ниже по передаче» используется набор меток для каждого шага в соединении. Для оптической сети могут использоваться четыре варианта набора меток:

– первый вариант реализуем, когда оконечное оборудование способно передавать ограниченный набор длин волн или диапазонов;
– второй вариант применим, когда последовательность интерфейсов не поддерживает преобразование длин волн и необходимо использование только одной волны на всем оптическом пути;
– третий вариант применим, когда желательно ограничение числа преобразований длин волн для уменьшения оптических искажений;
– четвертый вариант предполагает поддержку канала с разными волнами по концам.

Наборы меток необходимы для ограничения диапазона меток на участке одного LSP между двумя пользователями. Получатель набора меток должен ограничить свой выбор одной меткой субканала из набора N (рис. 5.60).

0 … 7	8 … 17	18 … 31
Действие	Резерв	Тип метки
Субканал 1		
.....		
Субканал *N*		

Рис. 5.60. Структура блока данных набора меток

Набор меток состоит из одной или более меток объектов. При этом *под объектом принято понимать пакет сигнальной информации*. Каждый объект содержит один или

более элементов набора меток. Каждый элемент обозначается как субканал и имеет такой же формат как общая метка.

Поле «действие» указывает, что объект содержит один или более субканальных элементов, включенных в набор меток. Поле «резерв» игнорируется во время обработки метки. Поле типа метки указывает на тип и формат меток, содержащихся в объекте. Значение поля зависит от сигнального протокола (PNNI, CR-LDP, RSVP-TE).

Поле субканала представляет присваиваемую метку длины волны, волокна и т.д.

5.5.5. Однонаправленные и двунаправленные LSP

Организация однонаправленных и двунаправленных LSP имеет существенные отличия.

Время установления двунаправленного LSP равно одному интервалу времени установления LSP плюс одна задержка переходного процесса инициатор-адресат. Это время не только покрывает время установления для случая успешного формирования LSP, но распространяется на худший случай обнаружения недоступного LSP, что в два раза больше переходного процесса инициатор-адресат. Эти задержки особенно существенны для LSP, которые формируются для восстановления при повреждениях.

Избыточность управления в два раза больше чем в случае однонаправленных LSP. Это связано с тем, что необходимо генерировать отдельные управляющие сообщения для обоих сегментов двунаправленного LSP.

Из-за занятости ресурсов, занятых в отдельных сегментах сети, выбор маршрута оказывается осложненным. Можно ожидать дополнительной конкуренции при выделении ресурсов, которая может уменьшить вероятность успешного формирования двунаправленного соединения.

Двунаправленные оптические LSP рассматриваются в качестве требования большинством операторов сетей. Установление двустороннего LSP от инициатора до получателя и наоборот происходит с использованием одного набора сигнальных сообщений, что уменьшает время установления тракта.

При установлении двунаправленных LSP возможна ситуация конфликтов меток. Конфликты меток могут происходить между двумя запросами установления двунаправленных LSP, которые направлены в противоположных направлениях. Такие конфликты могут происходить, когда обе стороны выделяют одни и те же ресурсы (метки) в одно и то же время. Если нет ограничений на использование меток в двунаправленных LSP и если ресурсы являются альтернативными, тогда оба узла передадут разные метки вверх по ходу и конфликта не будет. Однако, если имеется ограничение на метки, используемые для двунаправленных LSP или если нет более доступных ресурсов, то конфликт разрешается другими средствами. Например, узел с более высоким значением идентификации посылает сообщение — уведомление об ошибке тракта Path Error/NOTIFICATION с указанием на проблему маршрутизации или отказ присвоения метки. После получения такого сигнала ошибки, узел должен попытаться выделить другую метку для сегмента, расположенного выше в двунаправленном маршруте.

Для снижения вероятности конфликта можно ввести правило, когда узел с идентификатором нижнего уровня не предлагал бы меток и всегда использовал предлагаемую свыше метку.

5.5.6. Транспортировка сообщений защиты LSP

Защита LSP предполагает транспортировку сообщений в новом объекте (пакете данных) (рис. 5.61). Эти сообщения используются для описания атрибутов защиты канала запрошенного LSP. В сообщении указывается на желательный тип защиты канала LSP. Запрашиваемый конкретный тип защиты (например, 1+1 или 1:N) может реализоваться только при наличии ресурса.



Рис. 5.61. Структура данных поля защитной информации:
S — 1 бит вторичного LSP

Сообщение указывает также, является ли данный LSP первичным или вторичным (резервным). Вторичный LSP считается резервным по отношению к первичному LSP. Ресурсы вторичного LSP не используются до тех пор, пока работает первичный LSP. Ресурсы, выделенные для вторичного LSP, могут использоваться другими LSP до тех пор, пока первичный LSP не откажет. В такой ситуации любой LSP, который использует ресурсы вторичного LSP, должен быть отключен до устранения повреждения.

Когда бит S (рис. 5.61) равен 1, то это указывает на то, что запрашиваемый LSP вторичный. Флаги канала (6 битов) отмечают желательный тип защиты канала. Возможности защиты могут закладываться при маршрутизации. Значение 0 во всех битах флага указывает на возможность любой защиты, включая её отсутствие.

Определены флаги следующих типов защиты:

– улучшенная защита, указывает на то, что следует использовать надежную схему, например, 4-волоконную схему MS-SPRing;
– выделенная защита 1+1, указывает, что для LSP следует использовать выделенную схему защиты канального уровня 1+1;
– выделенная защита 1:1, указывает, что для LSP следует использовать выделенную схему защиты канального уровня 1:1;
– совместная защита 1:N, указывает на то, что для LSP следует использовать совместную схему защиты канального уровня 1:N;
– не защищено, указывает на то, что LSP не должно использовать средства защиты;
– дополнительный трафик, указывает, что LSP должен использовать другие каналы, которые защищают другой первичный трафик; такие LSP могут быть разорваны, когда отказывают каналы с защищенным трафиком.

Метками может транслироваться информация административного состояния (тестирования, ликвидации соединения и т.д.).

Непосредственно механизмы сигнальных взаимодействий могут быть реализованы через протоколы, например, RSVP-TE и CR-LDP.

5.5.7. Механизм сигнализации с использованием протокола GMPLS RSVP-TE

Протокол резервирования ресурсов — проектирования трафика (RSVP-TE, Resource Reservation Protocol — Traffic Engineering) является частью спецификаций интерфейсов UNI и E-NNI. Этот протокол сигнализации используется для соединений контроллера

вызова в интерфейсе UNI, контроллера соединения (PC) и менеджера ресурсов линии (LRM). Адресация транспортных ресурсов в этом протоколе производится идентификаторами пункта пула подсети SNPP (Subnetwork Point Pool). Пара таких идентификаторов определяет звено связи SNPP. Имена SNPP определяются из пространства транспортных имен, к которым относятся: транспортные ресурсы интерфейса UNI; имя блока управления запросом сети на предмет адреса для сигнализации; блок управления запросом сети на предмет адреса для сигнализации; блок ввода адреса для сигнализации; подсеть; кортроллер соединения и т.д. При этом контроллер маршрутизации и идентификаторы управления соединением не используются для создания имен звеньев связи.

В описание основных процедур протокола RSVP-TE входят собственно процедуры, сообщения и форматы объектов для передачи сигнальной информации по сети пакетами IP. Описание протокола RSVP-TE включает дополнительные сообщения (рис. 5.62).

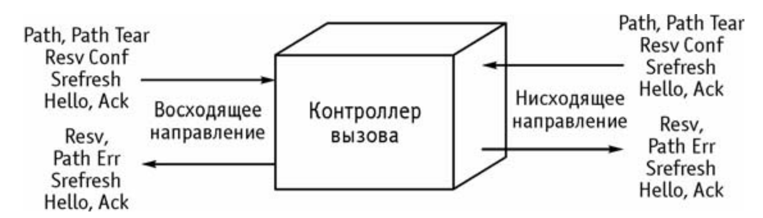


Рис. 5.62. Направления потоков сообщений GMPLS RSVP-TE

Расширением протокола RSVP-TE являются *объект* для наращивания поля имен от A до Z и также спецификации CoS и GoS для поддержки запросов на услуги интерфейса UNI.

Формат сообщений GMPLS RSVP-TE основан на базовой структуре пакета данных, определенной в документах RFC2205, RFC2961, RFC3209, RFC3474 (рис. 5.63). К этому формату добавляются необходимые объекты сигнальных сообщений (на рис. 5.63 не обозначены), например, в которых записан идентификатор оператора сети, идентификатор вызова, адрес элемента исходной транспортной сети и т.д. Сообщение RSVP состоит из заголовка и некоторого количества объектов, характерных для каждого типа сообщений. Типы сообщений кодируются: 1 — Path; 2 — Resv; 3 — Path Err; 5 — Path Tear; 7 — Resv Conf; 13 — Ack; 15 — Srefresh; 20 — Hello; 21 — Notify. В поле «версия» указывается версия протокола RSVP-TE. В поле «флаги» отмечается групповая или индивидуальная рассылка сообщения. Поле «контрольная сумма RSVP» предназначено для обнаружения ошибок. В поле «параметры передачи» передаётся сообщение о необходимом QoS. В поле «длина RSVP» фиксируется общее число байтов всего пакета с основной частью и объектами.

0 1 2 7 8 15 16 31 бит

Версия	Флаги	Тип сообщения	Контрольная сумма RSVP
Параметры передачи		Резерв	Длина RSVP

Рис. 5.63. Базовая структура кодирования сообщений по протоколу RSVP-TE

Типы сообщений имеют следующее назначение:

Path используется для инициирования запросов на установление соединения, на разъединение, промежуточного в направлении вызова запроса на разъединение, ответа на сообщение Resv;

Resv используется для ответа на запрос об установлении соединения с сообщением Path, при инициировании запроса на разъединение от получателя вызова и т.д.;

Resv Conf используется для ответа на запрос об установлении соединения Resv;

Path Tear используется для ответа на запрос о разъединении Resv, ответа на сообщение Path Err во время операций установки и разъединения и т.д.;

Path Err используется для ответа на запрос об установлении соединения Path, если это соединение не может быть установлено, для ответа на запрос о разъединении Path, для отправки сообщения о неудачной операции установки соединения, для отправки сообщения о неудачной операции разъединения;

Notify используется для того, чтобы асинхронно уведомлять контроллер соединения об ошибках при соединении;

Hello используется для обеспечения сеанса резервирования RSVP и инициирования процедуры перезагрузки;

Ack используется для подтверждения отправленным сообщениям;

Srefresh используется для обновления состояния сообщения RSVP-TE без передачи сообщений Path и Resv, что приводит к уменьшению количества передаваемой информации для поддержания синхронизма вызова и соединения;

Использование рассмотренных сообщений иллюстрируется общим описанием потока сигнальных сообщений для процедуры настройки (рис. 5.64):

– сообщение о пути (Path) для запрашиваемого соединения отправлено от исходного пункта к пункту назначения;
– после приема сообщения Path узлом назначения между исходным пунктом и пунктом назначения устанавливается сеанс резервирования ресурсов RSVP;
– узел назначения отвечает на сообщение Path одним из двух сообщений в обратном направлении (Resv — при нормальной настройке сети и Path Err — при ошибке процедуры настройки);
– после приема исходным узлом сообщения Resv может быть отправлено дополнительное сообщение Resv Conf.

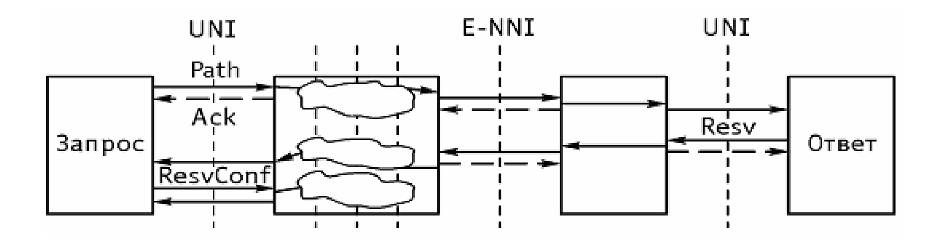


Рис. 5.64. Обмен сообщениями настройки коммутируемого соединения

5.5.8. Механизм сигнализации с использованием протокола GMPLS CR-LDP

Протокол распределения меток маршрута с учетом ограничений (CR-LDP, Constraint-based Routing Label Distribution Protocol) рассматривается как средство реализации управления вызовами и соединениями при передаче данных. Он используется для основных процедур: вызова и соединения, передачи сообщений и сигнализации, производимых через различные контрольные пункты. Протокол CR-LDP, наряду с соединением, обеспечивает включение оперативного управления вызовом, что позволяет располагать несколькими соединениями для одного вызова, изменять существующие соединения, составлять и выписывать счета за предоставленные вызовы. Протокол CR-LDP используется в контрольных точках интерфейсов UNI, I-NNI, E-NNI. При этом поддерживаются установление и разъединение соединений. Для сообщений протокола CR-LDP необходимо использование протокола TCP/IP в сети каналов передачи данных. Использование протокола TCP обусловлено его способностью к восстановлению канала сигнализации, поскольку в протоколе CR-LDP эта возможность не заложена.

Контрольная точка интерфейса E-NNI обеспечивает выполнение оперативного управления вызовами. Это дает возможность предпринять действия по поддержке соединения в пределах домена, ограниченного контроллерами вызовов. Например, в пределах какого-либо домена в соединении происходит повреждение, распространяющееся в интерфейс UNI и в интерфейс E-NNI. В оконечных пунктах соединения производится повторное установление соединения, что исключает распространение повреждения за пределы интерфейса E-NNI.

Все сообщения протокола CR-LDP имеют общую структуру кодирования параметров TLV (Type, Length, Value) — тип, длина, объем (рис. 5.65). Поле «объем» может содержать один или несколько параметров TLV. Поле «длина» определяет длину поля «объем» в октетах. Поле «тип» содержит одно из сообщений, направляемых из конца в конец: запрос метки, преобразование меток, инициализация связи, приветствие (местное применение), подтверждение активности (местное применение), снятие метки, преждевременное удаление метки и т.д. Бит U используется для неизвестного TLV. При получении неизвестного TLV, если $U = 0$, отправителю сообщения следует послать предупреждение, а сообщение должно быть проигнорировано; если $U = 1$, неизвестное TLV игнорируется по умолчанию, а остальное сообщение обрабатывается, как будто неизвестного TLV нет.



Рис. 5.65. Структура кодирования сообщений по протоколу CR-LDP

Бит F применяется для переадресации неизвестного TLV. Этот бит используется лишь в случае, когда $U = 1$ и сообщение LDP, содержащее неизвестный TLV, нужно переадресовать. Если $F = 0$, неизвестный TLV не переадресуется вместе содержащим его сообщением; если $F = 1$, неизвестный TLV переадресуется.

В поле «объем» фиксируются значения параметров сообщений, например, ширина полосы частот соединения, метки каждого сегмента соединения, номера сетевых элементов, формирующих соединение; флаги запроса и т.д.

Подробные сведения по протоколам сигнализации на основе GMPLS можно получить на образовательном портале открытых систем http://www.intuit.ru.

Контрольные вопросы

1. Из каких сетевых элементов строятся топологии транспортных сетей: «точка–точка», «линейная цепь», «кольцо», «звезда», «ячейка»?
2. Чем отличаются структуры кольцевых сетей на основе элементов SDH и на основе ROADM?
3. Чем образуется маршрут передачи в транспортной сети?
4. Что представляет собой транспортное соединение подсети?
5. Какие виды соединений предусмотрены в транспортных сетях?
6. Чем отличаются схемы защиты секций мультиплексирования 1+1 и 1:1?
7. Чем поддерживаются защитные переключения 1+1 и 1:1 в сетях на основе SDH и OTH?
8. Какие виды защиты соединений предусмотрены в кольцевых транспортных сетях?
9. Чем отличаются 2- и 4-волоконные оптические кольцевые сети?
10. Какие особенности имеют схемы защиты в сетях Ethernet?
11. Какое назначение имеет синхронизация в транспортных сетях?
12. С какой целью нормируются проскальзывания?
13. Какую роль играют фазовые дрожания (джиттер и вандер) при определении проскальзываний?
14. Какое происхождение имеют фазовые дрожания в транспортных сетях?
15. Что включено в эталонную цепь синхронизации?
16. Какие источники синхронизации используют в транспортных сетях?
17. Как происходит распределение тактового синхронизма в транспортных сетях?
18. Какие принципы и методы восстановления синхронизма применяются в транспортных сетях?
19. С какой целью проводится аудит сети синхронизации?
20. Почему транспортная сеть нуждается в системе управления?
21. Какие принципы положены в основу управления транспортными сетями?
22. В чем состоят функции управления транспортной сетью?
23. Что отображается на экране графического терминала управления?
24. С какой целью разработаны и внедряются сети ASTN/ASON?
25. Какие возможности заложены в сети ASON?
26. Какая роль отводится маршрутизации в сети ASON?
27. Какие функции выполняет протокол GMPLS в сети ASON?
28. Какие виды маршрутизации предусмотрены для сигнальной сети ASON?
29. Какие метки устанавливаются в сигнальных пакетах?
30. Какие отличия в организации установления соединений имеют однонаправленные и двунаправленные LSP?
31. Чем отличаются протоколы сигнализации RSVP-TE и CR-LDP?

Глава 6

ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

6.1. Принципы планирования

Транспортная сеть, и прежде всего оптическая транспортная сеть, является основой любой реальной сети связи от магистральной до местной и в том числе сети доступа. Транспортная сеть — это универсальная неспециализированная среда доставки информационных сообщений в любом формате (ячейки ATM, пакеты Ethernet, пакеты MPLS, циклы PDH и т.д.). Транспортная сеть — базовая сеть типовых универсальных каналов передачи, сетевых трактов и секций передачи, на основе которых формируются возможности вторичных сетей связи, обеспечивающих спектр услуг через специализированные пользовательские интерфейсы для отдельных видов услуг (телефония, Интернет, телевидение и т.д.) и интегрированных услуг (У-ЦСИС — N-ISDN, Ш-ЦСИС — B-ISDN). При этом транспортная сеть должна быть полностью прозрачной для пользовательских услуг. Прозрачность транспортной сети закладывается при планировании и последующем детальном проектировании, которые опираются на следующие принципы:

– сеть планируется с учетом длительной перспективы (от 5 до 20 лет) ее развития и изменения;
– осуществляется учет специальных условий и требований заказчика (пользователя) транспортной сети;
– предусматривается необходимый уровень эксплуатации транспортной сети и кадровый потенциал;
– определяется существующая и перспективная нагрузка сети с подразделением на виды и объемы предоставляемых услуг (коммутируемые каналы, коммутируемые виртуальные каналы, пакетная передача с заданным качеством и т.д.) [12, 13];
– выбирается подходящая среда передачи (оптоволокно, стволы радиолиний, медные провода) и базовые транспортные технологии (SDH, OTH, ATM, Ethernet, T-MPLS);
– выполняется обоснованный выбор архитектуры транспортной сети;
– обосновывается использование методов повышения надежности сети через реализацию видов защиты линейных и групповых трактов, резервирования оборудования и т.д.;
– разрабатываются схемы организации связи, синхронизации и управления;

– рассчитываются передаточные характеристики линейных трактов [1, 2, 3, 4, 5, 11];
– оптимизируется использование оборудования и линий;
– производится комплектация выбранного оборудования и оценка стоимостных показателей;
– оптимизируется сеть по стоимостным и качественным показателям при сравнении как минимум двух вариантов топологий, оборудования, линейных сооружений и т.д.

Перечень этих принципов планирования необходимо использовать при формулировании требований к проектируемой транспортной сети и ее характеристикам:
– сеть должна обеспечивать пропускную способность или базовые скорости передачи в STM-N, OTUk или волновыми каналами λ_i;
– сеть должна обеспечить перенос суммарного трафика в трактах магистрали (VC-12, VC-3, VC-4, VC-X-CCAT, VC-X-VCAT, ODU1, ODU2, ODU3, Ethernet на скорости 100 или 1000 Мбит/с);
– сеть должна удовлетворять заданным значениям надежности или коэффициента готовности;
– сеть должна быть расширяемой;
– сеть должна быть управляемой;
– в сети должно совмещаться оборудование различных производителей;
– сеть должна быть устойчива к повреждениям, сбоям и т.д.

Принципы и требования по планированию и проектированию транспортной сети отражают общий подход к процессу проектирования.

6.2. Виды нагрузки транспортной сети и требуемые ресурсы

Нагрузка транспортной сети определяет ее функциональные возможности:
– пользовательские интерфейсы;
– линейные или агрегатные интерфейсы различных видов передачи (например, одноволновой или многоволновой в оптической сети);
– операции группирования нагрузки (grooming) в отдельных блоках (VC-X, ODUk) или в сцепке (VC-X-CCAT, VC-X-VCAT, ODU-X-VCAT);
– возможности кроссовой цифровой и оптической коммутации;
– резервирование соединений в линейных и кольцевых топологиях;
– резервирование оборудования;
– объемы оборудования и т.д.

В табл. 6.1 представлены примеры нагрузки транспортных сетей, необходимые для них физические ресурсы сетей SDH и OTN. Совокупности этих нагрузок, определяемые при проектировании, в отдельных направлениях с учетом топологии сети образуют суммарные емкости. Эти емкости необходимы для определения возможностей линейной передачи с учетом операций защиты соединений и перспективы развития сети.

Общая схема формирования потока трафика транспортной сети представлена выше в примере оптической платформы на рис. 2.4. Обозначения для формирования потоков нагрузки приведены в разделе 2.5 и в списке сокращений.

Таблица 6.1. Виды нагрузки и ресурсы оптических транспортных сетей

Виды нагрузки и скорости		Ресурсы оптических транспортных сетей					
Пользовательская сеть	Скорость Мбит/с	SDH-CCAT		SDH-VCAT		OTN ODU1	OTN ODU2
		Ресурс	Эффект использования, %	Ресурс	Эффект использования, %	Эффект использования, %	
Телефонная сеть N-ISDN	2,048	VC-12	~94	VC-12	~94	–	–
PDH, E3	34,368	VC-3	~70	VC-3	~70	–	–
PDH, E4	139,264	VC-4	~93	VC-4	~93	–	–
10BASE-FL	10,0	VC-3	~30	VC-12-5v	~89	–	–
100BASE-FX	100,0	VC-4	~65	VC-3-2v	~100	–	–
1000BASE-LX кодирование 8B/10B	1250	VC-4-16c	~40	VC-4-7v	~96	~40	~11
10GBASE-LW	9953	VC-4-64c	~100	VC-4-64v	~100	–	~100
ESCON	200	VC-4-4c	~32	VC-4-2v	~67	~8	~2
3×ESCON	600	VC-4-4c	~96	VC-4-3v	~89	~25	~6
FICON	1062	VC-4-16c	~42	VC-4-8v	~89	~42	~10
Digital Video	270	VC-4-4c	~43	VC-4-2v	~90	~9	~2,7
Serial Digital HDTV	1485	VC-4-16c	~60	VC-4-10v	~100	~60	~15
SDH STM-16	2488	–	–	VC-4-17v	~94	~100	~25
SDH STM-64	9953	–	–	VC-4-68v	<100	–	~100
ATM STM-1	155,520	VC-4	~100	VC-4	~100	–	–
ATM STM-4	622,080	VC-4-4c	~100	VC-4-4v	~100	–	–

Ресурсы транспортной оптической сети подразделяются на следующие:

– ресурсы волоконных световодов (полоса от 30 до 60 ТГц);
– ресурсы WDM — число волновых каналов (от 1 до 320 и более);
– емкости волновых каналов OTN (от ODU1 до ODU3);
– емкости сцепляемых волновых каналов в пределах модуля оптической передачи OTM (от 1 до 16 волн в модуле с нагрузкой от ODU1 до ODU3);
– емкости виртуальных контейнеров SDH (индивидуальных и сцепляемых);
– емкости и режимы доставки кадров GFP (GFP-F, GFP-T);
– емкости потоков ячеек ATM и кадров Ethernet;
– возможности перспективных решений на основе новой технологии T-MPLS и т.д.

В оптических транспортных платформах, таких как Alcatel 1850 TSS (TSS-40, TSS-320, со скоростями передачи 40 Гбит/с, 320 Гбит/с), Cisco ONS 15450 MSTP, Marconi OMS-3200, Alcatel 1674 и других, сочетается множество функций транспортировки, группирования, мультиплексирования, коммутации (уровень каналов L2), маршрутизации (уровень сетевой L3), управления и синхронизации.

Новое поколение транспортных платформ является универсальным техническим решением между сетями пользователей (вторичными сетями) и транспортными сетями (первичными сетями).

Примеры характеристик пользовательских интерфейсов мультисервисной транспортной платформы Cisco ONS 15450 приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Примеры характеристик пользовательских интерфейсов платформы Cisco ONS 15450. Карты максимальной гибкости пакетной передачи ML

Характеристика	**15454-ML100T-12**	**15454E-ML1000-2**
Количество портов	12 (RJ-45)	2 SFP (SX или LX)
Скорость	10/100 Мбит/с	1000 Мбит/с
Порты Ethernet		
Поддержка номеров VLAN	от 1 до 4096	
Иерархические VLAN	255	
STP (802.1d)	255	
MTU	64…9000 байтов	
Агрегация каналов: клиентские порты	Fast Etherchannel (до 4 портов в группе)	Gigabit Etherchannel (до 2 портов в группе)
Виртуальные интерфейсы SDH		
Количество портов	2	
Сцепки на соединениях	VC-3; VC-4; VC-4-2c; VC-4-3c; VC-4-4c; VC-4-8c и VC-3-2v; VC-4-2v; VC-4c-2v	
Поддерживаемая инкапсуляция	CISCO HDLC; PPP (RFC 2615…)	
Топология	«Звезда», «точка-точка», «кольцо (RPR)»	
Максимальная транспортная пропускная способность	До 2,5 Гбит/с (VC-4-16c) на карту	
Резервирование	SNCP, MS-SPRing, MSP (1+1) …	
Протоколы уровней 2 и 3		
Функции L3 (сетевой)	Routing: Static, RIPv2, EIGRP, OSPF, BGP, ISIS; HSRP, …	
Функции L2 (канальный)	Ethernet коммутаторы и маршрутизаторы (802.1D), VLAN (802.1Q), …	

Аналогичные примеры характеристик пользовательских интерфейсов представлены в рабочих и рекламных документах основных производителей (Alcatel-Lucent, Nortel, Ciena, Marconi, ECI и т.д.).

Методики и примеры расчёта нагрузки в транспортных сетях с пакетной передачей, с временным разделением каналов и мультиплексированием WDM можно найти в [12, 13, 60].

Необходимо также отметить, что список видов пользовательской нагрузки транспортных сетей всё время пополняется. При этом разрабатываются стандарты и новые электрические и оптические интерфейсы (например, для Ethernet на скорости 100 Гбит/с), определяются новые возможности по группированию транспортных блоков и пакетов. Отрабатываются методики маршрутизации волновых каналов, виртуальных связей и т.д. Например, для реализации программ перехода на цифровое телевизи-

онное вещание потребуется гарантированный скоростной режим передачи сжатых телевизионных картинок. Методики расчетов этого вида трафика ещё должны быть разработаны с учетом возможностей транспортных платформ по коммутации, маршрутизации и защите от блокировок и повреждений.

6.3. Типы линейных интерфейсов и особенности их использования в оптических транспортных сетях

Линейные интерфейсы транспортных сетей — ключевые компоненты сетевых элементов. В значительной степени интерфейсы определяют пропуск трафика на межузловых соединениях. Интерфейсы строятся на основе международных стандартов ITU-T, IEEE, ISO/OSI.

Пример сетки оптических интерфейсов линейной передачи представлен на рис. 6.1. Описание этих интерфейсов представляет предмет внимания отдельного пособия. Здесь обращено внимание на наиважнейшие их характеристики, от которых зависит скорость, дальность, качество передачи и совокупная стоимость линейного тракта.

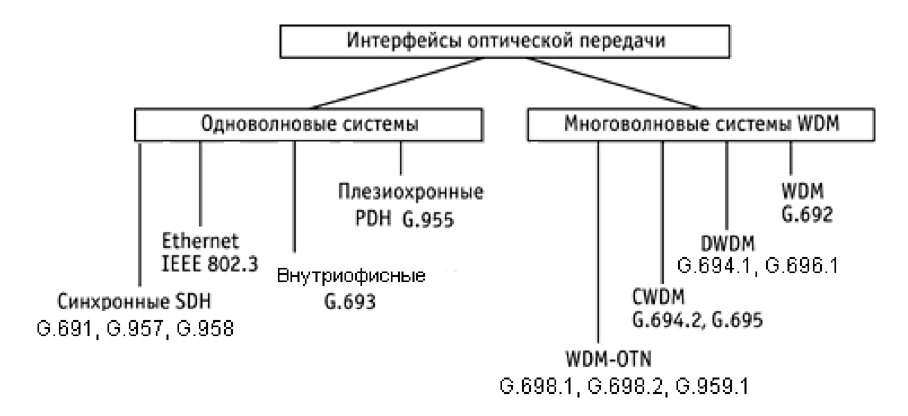


Рис. 6.1. Международные стандарты на оптические линейные интерфейсы

Интерфейсы одноволновой передачи отличаются относительной простотой устройства и смягчением ряда ограничений, например, на фиксацию длины волны излучения передатчика; большую допустимую вероятность ошибки на приёме, допуск на разброс параметров мощности передачи и чувствительности приёмника и т.д.

6.3.1. Интерфейсы одноволновых систем оптической передачи

Интерфейсы одноволновых систем оптической передачи характеризуются рядом показателей: диапазоном длин волн, диапазоном уровней мощности оптической передачи, минимальной чувствительностью приемника оптического сигнала, порогом перегрузки приемника, видом модуляции излучения, линейным кодом, максимальной допустимой

дисперсией между передатчиком и приемником, шириной спектральной линии излучения передатчика, максимальным перекрываемым затуханием между передатчиком и приемником, возможностью использования оптических усилителей мощности на передаче и предусилителей на приеме, возможностью использования процессора упреждающей коррекции ошибок и т.д. Перечисленные характеристики интерфейса определяют дальность передачи по волоконной линии и скорость передачи цифрового сигнала при заданной вероятности ошибок передачи.

Одноволновые интерфейсы, соответствующие спецификации G.955, поддерживают передачу на скоростях PDH (табл. 6.3): 2,048 Мбит/с; 8,448 Мбит/с; 34,368 Мбит/с; 139,264 Мбит/с при соответствующем линейном кодировании, например, вида CMI (Complemented Mark Inversion — инверсия групп символов), вида «NRZ со скремблированием», блочным mBnB со вставками mB1P1R, где $m \geq 1$, $n > m$, P — бит паритета, R — бит служебной связи.

Таблица 6.3. Примеры характеристик оптических плезиохронных интерфейсов (G.955)

Характеристика	Тип волокна	Иерархические скорости, Мбит/с			
		2,048	**8,448**	**34,368**	**139,264**
Минимальный уровень мощности передачи СИД и ППЛ, дБм					
Волна СИД: 0,85 мкм	ММВ	–17,0	–17,0	–17,0	–
Волна СИД: 1,31 мкм	ММВ	–21,0	–21,0	–21,0	–
Волна СИД: 1,31 мкм	ОМВ	–30,0	–30,0	–30,0	–
Волна ППЛ: 1,31 мкм	ММВ	–1,0	–1,0	–1,0	–1,0
Волна ППЛ: 1,31 мкм	ОМВ	–4,0	–4,0	–4,0	–4,0
Волна ППЛ: 1,3 мкм	ОМВ	–14,0	–14,0	–14,0	–14,0
Волна ППЛ: 1,55 мкм	ОМВ	–	–	–7,0	–7,0
Чувствительность приёмника при вероятности ошибки 10^{-9}, дБм					
Волна 0,85 мкм	ММВ	–51	–46	–40	–
Волна 1,31 мкм	ОМВ, ММВ	–52	–47	–42	–35
Волна 1,31 и 1,55 мкм	ОМВ	–	–	–	–38
Динамический диапазон приемника, дБ					
Волна 0,85 мкм	ММВ	> 40	> 34	> 26	–
Волна 1,31 и 1,55 мкм	ОМВ, ММВ	> 53	> 48	> 40	> 35
Обозначения: СИД — светоизлучающий диод; ППЛ — полупроводниковый лазер; ММВ — многомодовое волокно, соответствующее спецификации G.651; ОМВ — одномодовое волокно, соответствующее спецификации G.652					

Одноволновые интерфейсы, соответствующие спецификациям G.957, G.958, G.691, G.693 поддерживают скорости передачи в сети SDH от 155,520 Мбит/с до 39,813 Гбит/с при линейном кодировании вида «NRZ со скремблированием» (в табл. 6.4 и 6.5).

Стандартами IEEE 802.3 определены возможности физических интерфейсов Ethernet для волоконно-оптических линий с одномодовыми и многомодовыми волокнами (ОМВ и ММВ).

Одноволновые интерфейсы поддерживают скорости передачи в сети Ethernet: 10, 100, 1000 Мбит/с и 10 Гбит/с при линейном кодировании вида mBnB (в табл. 6.6).

В приведенных в табл. 6.3 примерах характеристик оптических плезиохронных интерфейсов в явном виде отсутствует учет свойств дисперсии волокна, но можно определить расстояние передачи по энергетическому потенциалу, определяемому разностью уровней мощности передачи и приёма ($P_{пер} - P_{пр}$). Для волоконных световодов ограничение по дисперсии можно оценить по требуемой полосе частот для линейного сигнала и полосе частот пропускания оптического волокна, как описано в [3, 11].

Линейные оптические интерфейсы SDH имеют систему обозначений, в которой отражены особенности интерфейсов по применению (табл. 6.4):

- I — линия малой длины внутри предприятия (intra-office);
- S — короткая линия (short-haul);
- L — длинная линия (long-haul);
- V — очень длинная линия (very long-haul);
- U — сверх длинная линия (ultra long-haul);
- VSR — очень короткое расстояние (в перемычке) (very short reach) (в табл. 6.4 не обозначено).

При обозначении V и U следует понимать включение в состав линейного интерфейса оптического усилителя мощности на передаче (B — booster) и предусилителя оптического сигнала на приеме (BP — booster pre-amplifier).

Таблица 6.4. Характеристики оптических интерфейсов SDH по применению

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Применение
Параметры</th><th rowspan="2">Внутри узла</th><th colspan="7">Межузловое применение</th></tr>
<tr><th colspan="2">Короткая линия</th><th colspan="5">Длинная линия</th></tr>
<tr><td colspan="2">Длина волны источника, нм</td><td>1310</td><td>1310</td><td>1550</td><td>1310</td><td colspan="4">1550</td></tr>
<tr><td colspan="2">Тип волокна</td><td>G.652</td><td>G.652</td><td>G.652</td><td>G.652</td><td colspan="2">G.652, 654, 655</td><td colspan="2">G.653, G.655</td></tr>
<tr><td colspan="2">Расстояние, км</td><td>2</td><td>~15</td><td>~15</td><td>~40</td><td colspan="2">~80</td><td colspan="2">~80</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Уровень STM-N, скорость Мбит/с</td><td>STM-1 155,52</td><td>I-1</td><td>S-1.1</td><td>S-1.2</td><td>L-1.1</td><td colspan="2">L-1.2</td><td colspan="2">L-1.3</td></tr>
<tr><td>STM-4 622,08</td><td>I-4</td><td>S-4.1</td><td>S-4.2</td><td>L-4.1</td><td>L-4.2</td><td>U-4.2</td><td>L-4.3</td><td>U-4.3</td></tr>
<tr><td>STM-16 2488,32</td><td>I-16</td><td>S-16.1</td><td>S-16.2</td><td>L-16.1</td><td>L-16.2</td><td>U-16.2
V-16.2</td><td>L-16.3</td><td>U-16.3
V-16.3</td></tr>
<tr><td>STM-64 9953,28</td><td>I-64</td><td>S-64.1</td><td>S-64.2</td><td>L-64.1</td><td>L-64.2</td><td>V-64.2</td><td>L-64.3</td><td>U-64.3
V-64.3</td></tr>
<tr><td>STM-256 39813,12</td><td>I-256.2</td><td>–</td><td>S-256.2</td><td>–</td><td>L-256.2</td><td>–</td><td>L-256.3</td><td>–</td></tr>
</table>

Цифровые индексы в обозначениях указывают на уровень STM-N, длину волны излучения и тип волокна, например, L-16.3 — уровень STM-16, длина волны 1550 нм (оптическое волокно G.653 или G.655). Характеристики волокон, соответствующие спецификациям G.652–G.655, приведены в [3, 4, 11].

Характеристики интерфейсов I, S, L, U, V должны быть согласованы с характеристиками волоконных световодов кабельных линий. Для этого определяются точки со-

гласования, обозначаемые S и R, т.е. точки подключения передатчика и приемника (рис. 6.2). Возможно обозначение этих точек MPI-S, MPI-R (Main Path Interfaces — интерфейсы основного тракта на передаче S и приёме R).

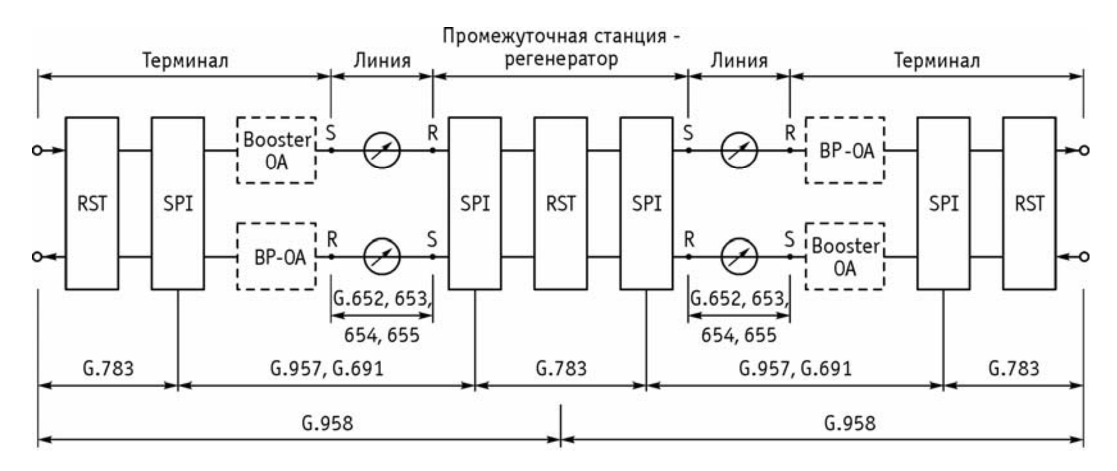


Рис. 6.2. Пример включения интерфейсов аппаратуры SDH для волоконно-оптической линии

В табл. 6.5 использованы обозначения: DFB, Distributed Feedback — лазер с распределенной обратной связью; p-i-n — обозначает конструкцию фотодиода; APD, Avalanche-Photodiode — лавинный фотодиод; BER, Bit Error Rate — коэффициент ошибок; OA, Optical Amplifier — оптический усилитель.

На рис. 6.2 обозначены стандартные функциональные блоки аппаратуры SDH, определенные в Рекомендации МСЭ-Т G.783: SPI, SDH Physical Interface — физический интерфейс SDH с точками подключения к линии или оптическому усилителю (OA) S — передачи, R — приема; RST, Regenerator Section Termination — окончание секции регенерации (функции доступа к заголовку RSOH).

Таблица 6.5. Примеры характеристик оптических интерфейсов SDH (G.691)

Код применения	**Единица**	**S-64.2**	**L-64.2**	**V-64.2**	**V-64.3**
Уровень STM		STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
Скорость передачи	Гбит/с	9,95328	9,95328	9,95328	9,95328
Длина волны	нм	1530…1565	1530…1565	1530…1565	1530…1565
Характеристики передатчика в точке S, включая усилители					
Тип лазерного диода		DFB	DFB	DFB + OA	DFB + OA
Спектральная ширина на уровне –20 дБм	нм	менее 0,2	менее 0,2	менее 0,2	менее 0,2
Минимальная средняя мощность	дБм	–1	+1	+12	+10
Максимальная средняя мощность	дБм	+1	+3	+15	+13

Окончание таблицы 6.5

Код применения	Единица	S-64.2	L-64.2	V-64.2	V-64.3
Характеристики приемника в точке R					
Тип диода приемника		p-i-n/APD	p-i-n/APD	p-i-n/APD	p-i-n/APD
Минимальная чувствительность при BER = 10^{-12}	дБм	–14	–23	–23	–24
Порог перегрузки	дБм	+1	–9	–9	–9
Максимальные потери оптического пути	дБ	2	2	2	2
Максимальный коэффициент отражения приемника	дБ	–27	–27	–27	–27
Оптический тракт между точками S и R					
Максимальный диапазон затухания	дБ	11	22	33	33
Минимальный диапазон затухания	дБ	0	10	22	22
Максимальная дисперсия	пс/нм	800	1600	2400	400
Минимальный коэффициент потери на отражение	дБ	24	24	24	24
Максимальное отражение на компонентах	дБ	–27	–27	–27	–27
Участок регенерации	км	*	*	*	*
* Длина участка регенерации определяется возможностями энергетического потенциала и компенсаций дисперсии, применением различных типов одномодовых волоконных световодов (G.652, G.653, G.655)					

Особенностью интерфейсов STM-64 и STM-256 может быть использование в их составе не только оптических усилителей, но и компенсаторов дисперсии (волоконных и интегральных) для предкоррекции на передаче или посткоррекции на приёме. Сочетание оптического усиления и компенсации дисперсии обеспечивает повышение дальности передачи по волоконно-оптической линии [3]. Более подробные примеры характеристик одноволновых интерфейсов SDH приведены в [4].

Оптические интерфейсы транспортных сетей Ethernet определены для коротких и протяженных линий. Короткие линии, как правило, не превышают длины 2 км и строятся преимущественно с использованием многомодовых волокон (ММВ). Протяженные линии могут достигать 40…80 км и строятся с использованием одномодовых волокон (ОМВ). Наибольшие проблемы по дальности передачи проявляются на скорости 10 Гбит/с. Интерфейсы 10GBASE-E, 10GBASE-EW, 10BASE-L поддерживают дальность до 40 км. Однако нормированное значение дисперсии для них (738 пс/нм) существенно меньше аналогичного примера для интерфейсов SDH STM-64 (см. табл. 6.4) (L-64.2, V-64.2) для многоволновой передачи в диапазоне волн 1530…1625 нм

(10GBASE — LX 4) и для одноволновой передачи на волнах 1310 нм (10GBASE — L) и 1550 нм (10GBASE-E) в одномодовом волокне. Для выбора и использования интерфейсов необходимо точно произвести расчеты длин участков передачи по энергетическим показателям и по величине дисперсии.

В обозначениях интерфейсов Ethernet определён следующий порядок. Обозначение BASE происходит от сокращения слова baseband (baseband signaling — метод передачи данных без модуляции). Цифровое или цифровое и буквенное обозначение перед словом BASE указывают на скорость передачи данных, измеряемую в Мбит/с или Гбит/с. Например, 100BASE-T обозначает скорость передачи 100 Мбит/с по витой паре медных проводов, на что указывает буквенный индекс T (от английского twisted pair). Другой пример, 10GBASE-E обозначает скорость передачи 10 Гбит/с по одномодовому оптическому волокну на большую дальность, на что указывает буквенный индекс E (английского extra long). Более подробные сведения по электрическим и оптическим интерфейсам сетей Ethernet можно найти в [11, 68], а примеры приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6. Примеры характеристик оптических интерфейсов для конверторов Ethernet на скорости 100 и 1000 Мбит/с (IEEE 802.3)

Тип интерфейса Ethernet	Дальность передачи, км (тип волокна)	Диапазон волн, нм	Диапазон уровня мощности, дБм, (кодирование)	Перегрузка приемника, дБм	Чувствительность приемника, дБм
Стандарт IEEE 802.3u					
100BASE-F	2 (ММВ)	1270…1380	–20…–14 (4B5B)	–14	–34
Стандарт IEEE 802.3z					
1000BASE-LH	70 (ОМВ)	1480…1580	–3…+2 (8B10B)	–3	–23
1000BASE-LS	10 (ОМВ) 0,55 (ММВ)	1270…1335	–11…–3 (8B10B)	–3	–19
1000BASE-S	0,2…0,5 (ММВ)	830…860	–9,5…–4 (8B10B)	–3	–17

Использование характеристик одноволновых оптических интерфейсов при проектировании линейных трактов определено Рекомендацией ITU-T G.655. Длина регенерационного участка с точки зрения энергетического потенциала находится через соотношение:

$$L_{\text{ру}} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e - (N-1)l_{\text{ст}} - N_c l_{\text{стр}}}{\alpha_c + \alpha_m},,$$

где P_S — уровень мощности передатчика в точке подключения аппаратуры и линии; P_R — уровень мощности приемника в точке подключения аппаратуры и линии; P_D — мощность (в дБм) дисперсионных потерь; M_e — энергетический запас на старение оборудования (разность максимального и минимального уровней мощности передачи); N — число строительных длин кабеля; $l_{\text{ст}}$ — потери мощности на неразъемных стыках кабеля; N_c — число разъемных стыков (2 или 4 стыка на участке секции регенерации); $l_{\text{стр}}$ — потери мощности на разъемных стыках; α_c — километрическое затухание кабеля на заданной длине волны; α_m — запас на повреждение (дБ/км). Строительная длина кабеля принимается в расчетах от 4 до 6 км.

Пример расчета для интерфейса V-64.2.

Исходные данные:

P_S = 15 дБм; P_R = –23 дБм; P_D = 2 дБ; M_e = 3дБ; $l_{ст}$ = 0,05 дБ; $l_{стр}$ = 0,1 дБ;
α = 0,2 дБ/км; α_m = 0,05 дБ/км; строительная длина кабеля — 6км.

$$L_{ру} = \frac{15+23-2-3}{0,2+0,5} = 132 \text{ км.}$$

Число строительных длин на участке 132 км составит M = 132/6 = 22.

С учетом потерь на стыках длина участка передачи составит

$$L_{ру} = \frac{15+23-2-3-21\times 0,05+4\times 0,1}{0,2+0,05} = 126,2 \text{ км.}$$

Таким образом длина участка составит 126,2 км с учётом допустимых потерь оптической мощности. На длине волны 1550 нм величина дисперсии не должна превышать 2400 пс/нм. Для одномодового волокна в соответствии с G.652 на волне 1550нм значение хроматической дисперсии на 1 км составляет 18 пс/нм×км, а на длине 126,2 км

$$D_{хр} = 18\times 126.2 = 2271,6 \text{ пс/нм.}$$

Таким образом норматив на хроматическую дисперсию выполняется при ширине спектральной линии источника излучения (лазер типа DFB) 1 нм. Однако на скорости передачи 10 Гбит/с необходимо учитывать и поляризационную модовую дисперсию (ПМД),

$$D_{пмд} = \sigma_{пмд} \times \sqrt{L_{ру}},$$

где $\sigma_{пмд}$ нормировано по отношению к длине волокна 0,5 пс/км$^{1/2}$. В этом случае необходимо добавить к $D_{хр}$ величину $D_{пмд}$, которая вычисляется:

$$D_{пмд} = 0,5\sqrt{126,2} = 5,616 \text{ пс.}$$

Результирующая дисперсия определяется через соотношение

$$D_\Sigma = \sqrt{D_{хр}^2 + D_{пмд}^2}, \text{ т.е. } D_\Sigma = \left(2271,6^2 + 5,616^2\right)^{0,5} = 2271,607 \text{ пс.}$$

Нетрудно заметить, что совокупная величина хроматической и поляризационной дисперсии не превосходит нормативное значение дисперсии для интерфейса V-64.2.

Другой подход: определить требуемое значение дисперсии на 1км линии и сравнить с нормированным стандартным значением:

$$2400 \ \frac{пс}{нм}\Big/126,2 \text{ км} = 19,1 \ \frac{пс}{нм\times км}.$$

Таким образом допустимый норматив 19,1 пс/нм×км превышает нормированный, что указывает на допустимость использования интерфейса V-64.2 на участке длиной 126,2 км. По величине полученной километрической дисперсии можно выбрать:

– соответствующий тип волокна;

– длину волны передатчика в диапазоне 1547…1562 нм;

– ширину спектральной линии передатчика, измеряемую в долях нм, например, 0,2 нм (табл. 6.5);
– соответствующий компенсатор дисперсии при необходимости.

Современные оптической интерфейсы, например, U-64.2, 10GBASE-EW, могут выполняться с функциями упреждающей коррекции ошибок (FEC). Это дополнительно повышает энергетический потенциал системы передачи на 3…8 дБм. Учет FEC при проектировании позволит гибко определить длину участка передачи и разместить промежуточные станции в подходящих местах, населенных пунктах.

6.3.2. Интерфейсы многоволновых систем

Интерфейсы многоволновых систем оптической передачи выполняются в составе аппаратуры SDH, OTH, Ethernet и вне ее в виде отдельных устройств с транспондерными блоками. Интерфейсы определяются на какую-либо сетку номинальных значений оптических частот или волн. Эти сетки определены в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т:
– G.692 — оптические интерфейсы для многоканальных систем с оптическими усилителями;
– G.694.1 — спектральные сетки для применения в технологии WDM: сетка номинальных значений длин волн для технологии DWDM;
– G.694.2 — спектральные сетки для применения в технологии WDM: сетка номинальных значений длин волн для технологии CWDM;
– G.695 — оптические интерфейсы для применения технологии CWDM;
– G.696.1 — внутридоменные приложения технологии DWDM;
– G.698.1, G.698.2 — многоканальные приложения DWDM с одноканальными интерфейсами;
– G.959.1 — интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети OTN.

Рекомендациями G.692 установлены сетки номинальных значений частот в диапазоне волн 1520…1560 нм с частотным шагом 100, 200, 400, 500, 400/500, 600, 1000 ГГц для волокон, определенных рекомендациями МСЭ-Т G.652, G.653 и G.655. При этом число волн может быть выбрано от 4 до 50. Определен оптический сервисный канал на волне 1510±10 нм (что соответствует частоте 198,5±1,4 ТГц). Чувствительность приемников отдельных каналов оценивается на уровне мощности приёма, соответствующем коэффициенту ошибок 1×10^{-12}. Для всех видов интерфейсов нормируется величина максимальной дисперсии в волокне типа G.652 (табл. 6.7).

Таблица 6.7. Нормирование максимальной дисперсии для волокна типа G.652

Код применения интерфейса	L	V	U	nV3-y.z	mL5-y.z	nV5-y.z	nL8-y.z
Максимальная дисперсия, пс/нм	1600	2400	3200	7200	8000	12000	12800

Установлены максимальные значения затухания между оптическими усилителями протяженных линий (табл. 6.8).

Таблица 6.8. Затухание участков передачи многоволновых сигналов

Код применения интерфейса	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z	nLx-y.z	nVx-y.z
Максимальное затухание, дБ	22	33	44	22	33

На рис. 6.3 представлены точки нормирования характеристик оптических интерфейсов, определенных Рекомендацией G.692.

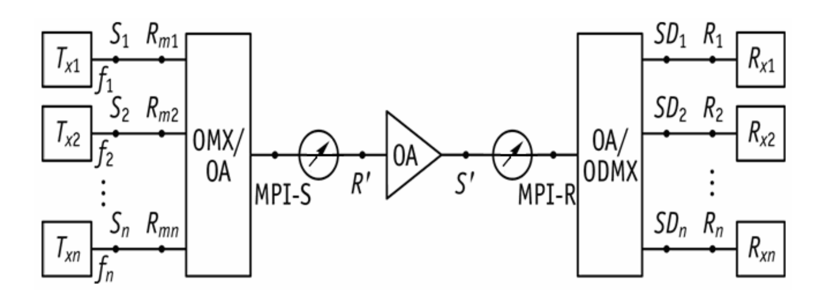


Рис. 6.3. Точки нормирования характеристик оптических интерфейсов

Точки $S_1 \ldots S_n$ — подключение оптических соединительных кабелей к передатчикам $T_{x1} \ldots T_{xn}$ отдельных волновых каналов с нормированными оптическими частотами $f_1 \ldots f_n$.

Точки $R_{m1} \ldots R_{mn}$ — подключение оптических соединительных кабелей к оптическому мультиплексору OMX, совмещенному с оптическим усилителем OA.

Точка MPI-S — подключение оптического мультиплексора с усилителем к оптическому линейному кабелю.

Точки S', R' — подключение промежуточного оптического усилителя OA к линейному оптическому кабелю.

Точка MPI-R — подключение оптического предусилителя OA, совмещенного с демультиплексором ODMX, к оптическому линейному кабелю.

Точки $SD_1 \ldots SD_n$ — подключение оптического демультиплексора к оптическим соединительным кабелям.

Точки $R_1 \ldots R_n$ — подключение оптических соединительных кабелей ко входам приемников $R_{x1} \ldots R_{xn}$.

Все перечисленные точки подключения представлены разъемными соединителями — коннекторами. Необходимо отметить, что аналогично схеме на рис. 6.3 нормируются точки подключения для систем передачи многоволновых сигналов OTN, DWDM, CWDM.

В обозначениях кода применения интерфейсов G.692 принята следующая система (табл. 6.9):

nWx-y,z,

где n — максимальное число волн или оптических каналов; W — указание на длину линии (L — длинная, V — очень длинная, U — сверхдлинная); x — число участков усиления; y — уровень STM-N; z — тип волокна (индексы 2, 3, 5 соответствуют стандартам волокон, определенных спецификациям G.652, G.653, G.655).

Таблица 6.9. Примеры кодов применения интерфейсов WDM

Участок применения	**Длинный L (80 км)**		**Очень длинный V (120 км)**	
Число участков	5	8	3	5
4-канальная система	4L5-y,z	4L8-y,z	4V3-y,z	4V5-y,z
8-канальная система	8L5-y,z	8L8-y,z	8V3-y,z	8V5-y,z
16-канальная система	16L5-y,z	16L8-y,z	16V3-y,z	16V5-y,z

Сетка оптических частот DWDM, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.694.1, может соответствовать соотношениям:

– 12 ГГц между волнами (в ТГц) $193{,}1 + n \times 0{,}0125$;
– 25 ГГц между волнами (в ТГц) $193{,}1 + n \times 0{,}025$;
– 50 ГГц между волнами (в ТГц) $193{,}1 + n \times 0{,}05$;
– 100 ГГц между волнами (в ТГц) $193{,}1 + n \times 0{,}1$.

Число n — целое и может иметь знак «+» и «–». Например, волне 1624,89 нм будет соответствовать частота 184,5 ТГц при скорости света $2{,}99792458\times10^8$ м/с.

Сетка номинальных значений длин волн CWDM, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.694.2, может соответствовать следующей последовательности: 1271, 1291, 1311, 1331, 1351, 1371, 1391, 1411, 1431, 1451, 1471, 1491, 1511, 1531, 1551, 1571, 1591, 1611 нм. Интервал между волнами 20 нм при допустимом отклонении каждой из волн ±6…7 нм от указанного номинала.

Возможности интерфейсов CWDM определены в рекомендации МСЭ-Т G.695. Код применения интерфейса CWDM:

CnWx-ytz,

где C — принадлежность к CWDM; n — максимальное число волновых каналов (до 18); W — длина участка передачи (S — короткий, L — длинный); x — число участков усиления; y — указание класса пользовательского сигнала (0 — соответствует NRZ 1.25 Гбит/с, 1 — соответствует NRZ 2.5 Гбит/с); t — указание на поддерживаемый состав интерфейса (A — наличие усилителя оптической мощности на передаче и оптического предусилителя на приеме; B — использование только усилителя оптической мощности на передаче; C — использование оптического предусилителя; D — отсутствие оптических усилителей); z — указание на тип волокна (индексы 2, 3, 5 соответствуют стандартам волокон, определенных рекомендациями G.652, G.653, G.655).

Для расширения кодов применения используются индексы B и S:

B-CnWx-ytz,

где B — двусторонняя передача в одном волоконном световоде,

S-CnWx-ytz,

где S — использование архитектуры тёмной линии (black-link). Примеры использования некоторых обозначений приведены в табл. 6.10.

Таблица 6.10. Пример обозначения 8-канальных интерфейсов CWDM

Участок применения интерфейса	Короткий S	Длинный L	
Спецификации волокна	G.652	G.652	G.653
Обозначение интерфейса	–	B-C8L1-0D2	B-C8L1-0D3
Расстояние передачи компонентного сигнала в формате NRZ (на скорости 1,25 Гбит/с), км	–	64	64
Обозначение интерфейса	C8S1-1D2 B-C8S1-1D2	C8L1-1D2 B-C8L1-1D2	B-C8L1-1D3
Расстояние передачи компонентного сигнала в формате NRZ (на скорости 2,5 Гбит/с), км	27	55	58

Оптические интерфейсы многоволновой передачи в OTN, определенные в Рекомендации G.959.1, имеют код применения:

PnWx-ytz,

где P — индикатор применения в OTN; n — максимальное число волновых каналов (по Рекомендации G.694.1); W — максимальное расстояние передачи (VSR — очень короткие участки (перемычки в аппаратуре); I — внутриофисные соединения (перекрываемое затухание 0…7 дБ); S — короткие расстояния (затухание до 11 дБ); L — протяженные линии (затухание до 22 дБ); V — очень длинные линии (затухание до 33 дБ)); x — число участков усиления; y — указание на класс сигнала от пользователя (1 указывает на сигнал в коде NRZ на скорости 2,5 Гбит/с, 2 указывает на сигнал в коде NRZ на скорости 10 Гбит/с); t — указание на конфигурации передачи и приема (A — оптические усилители передачи и оптические предусилители приема; B — только усилитель оптической мощности передачи; C — только оптический предусилитель на приеме; D — отсутствие оптического усилителя); z — указание на источник оптических волн и тип волокна (1 — для волны 1310 нм и волокна G.652; индексы 2, 3, 5 соответствуют стандартам волокон, определенных в рекомендации МСЭ-Т G.652, G.653, G.655 для волн вблизи 1550 нм).

Пример обозначения интерфейса OTN: P16S1-2B5 — OTN, 16 волн, затухание 11 дБ, OTU-2 (NRZ 10 Гбит/с), только усилитель мощности передачи, волокно соответствует Рекомендации МСЭ-Т G.655.

Наиболее сложным элементом проектирования многоволновых систем передачи является параметр оптического отношения сигнал/шум OSNR (Optical Signal Noise Ratio). Необходимо учитывать его связь с числом волновых каналов, длиной линии, числом используемых усилителей, линейностью характеристик усиления, коэффициентом ошибок BER, нелинейными оптическими эффектами и т.д. Ниже приведены базовые соотношения для выполнения необходимых расчетов линий с WDM между точками MPI-S, R', S', MPI-R.

Расчет OSNR для одного из N оптических каналов производится по формуле [49]:

$$\text{OSNR} = P_{ch} - a_S - NF - 10\lg M_{\text{ус}} + 58 \text{ дБ},$$

где P_{ch} –минимально допустимый уровень мощности сигнала в одном канале; a_S — усиление оптического усилителя; NF — коэффициент шума оптического усилителя (для EDFA 5…6 дБ); $M_{\text{ус}}$ — число оптических усилителей в системе передачи между оптическими мультиплексорами. Значение 58 дБ представляет собой нормированную величину уровня мощности квантового шума в полосе частот оптического канала на входе оптического усилителя, т.е.

$$-58\ \text{дБ} = 10\lg\left(h \times f \times \Delta f\right),$$

где h — постоянная Планка; f — несущая частота оптического канала; Δf — полоса частот оптического канала.

Максимальный уровень мощности на выходе оптического усилителя многоволновой системы передачи для одного из N каналов определяется соотношением

$$P_{ch\,\text{макс}} = P_{\text{макс}} - 10\lg N,\ \text{дБ},$$

где $P_{\text{макс}}$ — максимальный допустимый уровень передачи в стекловолокне; N — число оптических каналов. Кроме этих формул пригодны приведённые выше формулы определения расстояния по затуханию и дисперсии — $L_{\text{ру}}$, $D_{\text{хр}}$. Значение OSNR обычно указывается для конкретного образца оборудования производителя, исходя из требуемого коэффициента ошибок. Например, для 8-ми пролетов с семью оптическими линейными усилителями с усилением 22 дБ для каждого канала значение OSNR должно быть не менее 20 дБ при коэффициенте ошибок в каждом оптическом канале не хуже 10^{-10}. На значение OSNR может повлиять использование рамановских линейных усилителей и процессоров FEC (см. G.696.1, www.itu.int).

На основе приведенных соотношений может рассчитываться и строиться диаграмма уровней передачи каждого волнового канала с целью определения участков несоответствия OSNR характеристикам аппаратуры и для исключения нелинейных эффектов в стекловолокне [3, 11]. Кроме того, путем расчетов должна контролироваться величина совокупной дисперсии в самом длинноволновом канале с целью размещения, при необходимости, компенсатора дисперсии совместно с усилителем. Как правило, поставщики оборудования транспортных оптических сетей с WDM предусматривают программные опции для автоматизированного расчета линейных трактов с оптическими усилителями. Это позволяет на стадии проектирования получать не только оценочные расчеты, но и точные данные по конкретным участкам.

6.3.3. Реализация многоволновых интерфейсов

Реализации многоволновых интерфейсов имеют вид карт с модулями оптической передачи/приема на фиксированных волнах одной из сеток оптических частот, соответствующих рекомендациям МСЭ-Т G.692, G.694.1, G.694.2. Отдельные карты, в частности линейные карты STM-N, получили название «цветных интерфейсов». Оптические сигналы различных длин волн от подобных карт объединяются и разделяются оптическим пассивным устройством — мультиплексором/демультиплексором (рис. 6.4). Примером реализации этого вида многоволнового интерфейса может служить карта под названием «IFS40G-MX, Lambda Shelf WDM» аппаратуры SURPASS hit 7070 Siemens, в которой объединяются и разделяются четыре волновых канала со скоростью передачи в каждом 10 Гбит/с.

Оптические мультиплексоры (OMX) и демультиплексоры (ODMX) имеют сходное построение, например представляют собой волноводные решетки, которые вносят потери мощности до 3…5 дБ в каждый оптический канал. По этой причине OMX и ODMX могут совмещаться с оптическими усилителями (OA) (рис. 6.5).

Однако многоволновые интерфейсы реализуются, как правило, в виде транспондерных карт. В этих картах возможна реализация многих функций обработки пользовательских и линейных сигналов. Например, можно мультиплексировать низкоскоростные цифровые потоки в потоки высокой скорости (4×622 Мбит/с в 2,5 Гбит/с), исправлять ошибки передачи в линии (функции FEC), автоматически регулировать уровень мощности каждого канала, использовать преобразование пользовательских данных в циклы OTH-OTN, реализовать функции регенерации 2R и 3R и т.д.

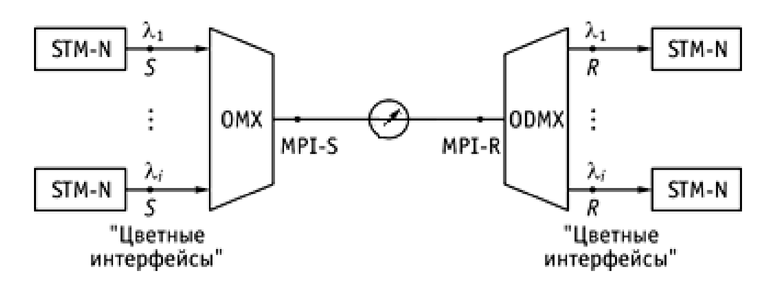


Рис. 6.4. Оптическая система передачи с «цветными интерфейсами» в картах STM-N

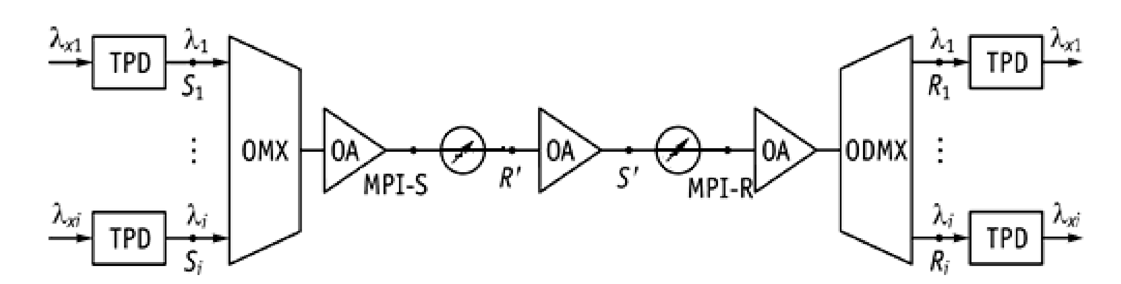


Рис. 6.5. Оптическая система передачи с транспондерными картами TPD

Схема построения оборудования 1626LM Alcatel с функциями мультиплексирования/демультиплексирования на 80 оптических каналов с использованием транспондеров представлена на рис. 6.6. Эта схема имеет двухступенчатое мультиплексирование. На первой ступени мультиплексором CMDX производится формирование каналов и модулей. Все необходимые преобразования пользовательской нагрузки в оптические каналы производятся в транспондерах (TPD10G) на скорости 10 Гбит/с. В один оптический модуль мультиплексируется до 8 оптических каналов. На второй ступени мультиплексор BMDX объединяет до 10 оптических модулей в сигнал оптической секции передачи. На приемной стороне выполняются обратные операции по демультиплексированию оптических модулей и каналов соответственно блоками BMDX и CMDX. При этом возможно использование оптических усилителей (OA) для увеличения мощности сигналов оптических модулей.

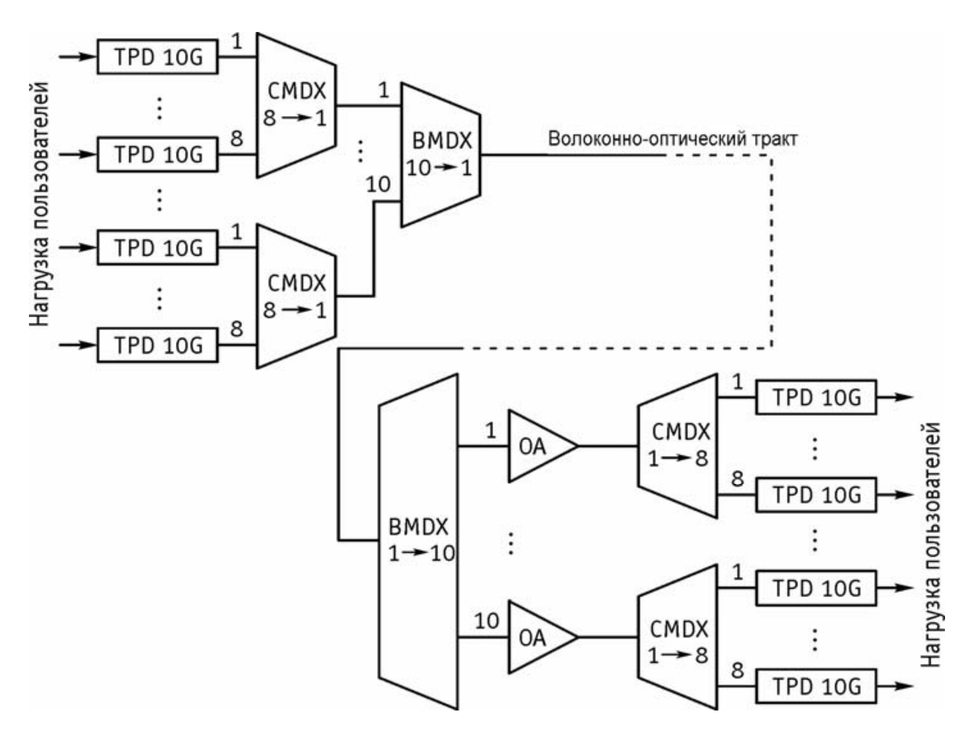


Рис. 6.6. Структура оборудования 1626LM

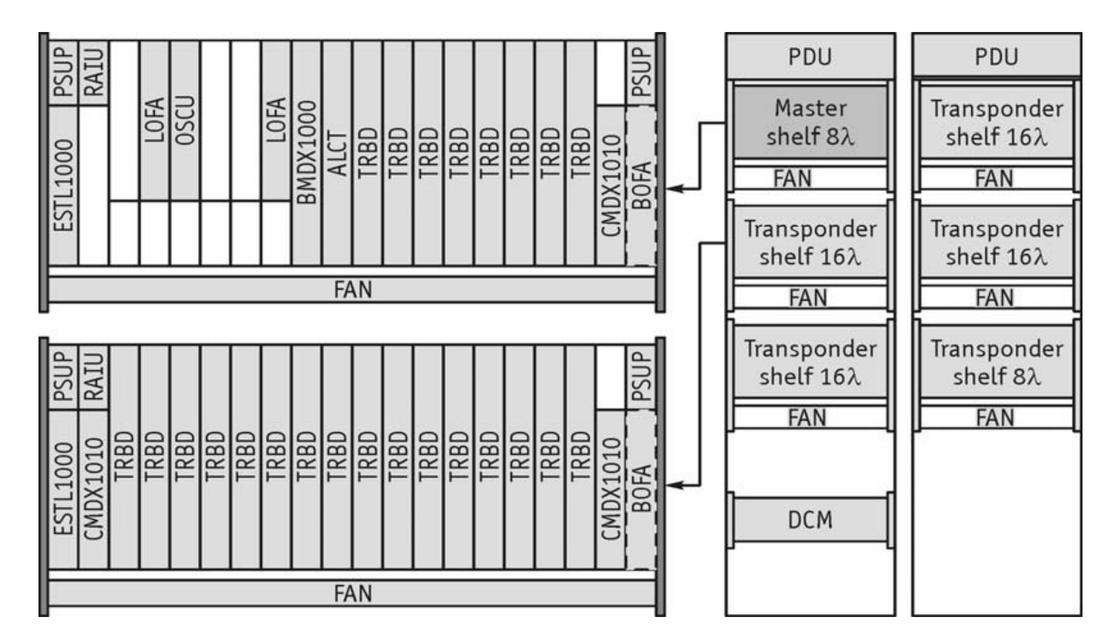


Рис. 6.7. Конфигурация корзин и стоек аппаратуры 1626LM на 80 оптических каналов

На рис. 6.7 представлена конфигурация корзин и стоек аппаратуры OTH 1626LM Alcatel на 80 оптических каналов. На стойках различаются: корзина управления (Master shelf 8λ) с комплектацией оборудования на 8 оптических каналов и каналом управления; транспондерные корзины (Transponder shelf 16λ) на 16 оптических каналов; блок компенсаторов дисперсии DCM и блок PDU для распределения электропитания. Кроме того, в состав корзины 1626LM входят блоки:

– PSUP, Power Supply — электропитание;
– RAIU, Rack Alarm Interface Unit — интерфейсный блок стоечной аварийной сигнализации;
– ESCTL 1000, Equipment and Shelf Controller — контроллер полки и оборудования;
– CMDX 1010, Channel Mux/Demux (8 каналов с интервалом 50 ГГц) — мультиплексор/демультиплексор каналов;
– BMDX 1000, Band Mux/Demux for OLTE — полосный мультиплексор/демультиплексор линейного оборудования;
– TRBD, Tributary Direct — транспондерное место для сигнала 10 Гбит/с;
– LOFA, BOFA — волоконно-оптические усилители: линейный и полосный на 8 каналов;
– FAN — вентилятор охлаждения;
– OSCU, Optical Service Channel Unit — блок оптического сервисного канала.

В заключении необходимо отметить, что выбор и применение многоволновых интерфейсов определяется конкретными условиями, сравнительным анализом технических и экономических показателей проектируемой сети и оборудования для её реализации.

6.4. Коммутационные и алгоритмические возможности транспортной платформы

Коммутационные и алгоритмические возможности в транспортных платформах оптических сетей тесно связаны. Коммутационные возможности транспортных платформ должны рассчитываться под прогнозируемый трафик и подразделяются на возможности:

– пользовательских интерфейсов Ethernet, IP, MPLS, ATM, HDLC;
– электронных матриц коммутации трафика (виртуальных контейнеров высокого и низкого уровней, сцепленных виртуальных контейнеров);
– оптических матриц коммутации оптических каналов и групп оптических каналов (модулей).

Алгоритмические возможности достаточно разнообразны и включают поддержку:

– функций последовательной и виртуальной сцепок (CCAT и VCAT);
– функций регулировки емкости сцепляемых виртуальных контейнеров (LCAS);
– динамического транспорта пакетов DPT (Dynamic Packet Transport), т.е. защищаемого пакетного кольца RPR стандарта IEEE 802.17;
– алгоритмов пакетной передачи PPP, GFP;
– технологии T-MPLS;
– динамической коммутации в OADM и ROADM;
– автоматической защиты соединений уровня секций, трактов и оптических каналов;
– контроля отношения сигнал/шум в оптических каналах (OSNR) и ряд других.

Таким образом, при проектировании оптической транспортной сети необходимо детальное изучение возможностей транспортных платформ по всем элементам. Например, высокая степень коммутационных и алгоритмических возможностей достигнута в платформах:

- Alcatel 1850 TSS (Transport Service Switch) с поддержкой скоростей передачи 40 и 320 Гбит/с;
- Cisco ONS 15454 MSTP (Multiservice Transport Platform);
- OMS 3200 Marconi;
- Alcatel 1678 MCC (Metro Core Connect) и т.д.

6.5. Этапы разработки проекта оптической транспортной сети

Разработка проекта оптической транспортной сети с учетом пользовательского трафика разбивается на ряд этапов:

- разработка технического задания с учетом состояния существующей сети связи (услуг, оборудования, линейных сооружений, эксплуатационного персонала);
- оценка существующих и перспективных услуг, определение предполагаемого объема трафика услуг с пакетной коммутацией и коммутацией каналов;
- планирование размещения узлов и выбор структуры сети;
- выбор оборудования;
- выбор среды передачи;
- анализ и определение требований по надежности, выбор технологий защиты сети;
- определение необходимых энергетических потенциалов передачи между узлами для линий связи и оборудования транспортных платформ;
- определение поставщиков оборудования и линейного кабеля;
- определение состава оборудования в узлах;
- выполнение проекта линий связи;
- разработка схемы организации связи транспортной сети;
- учет специальных условий и требований заказчика проекта;
- разработка схемы синхронизации цифрового оборудования транспортной сети;
- разработка схемы управления;
- определение необходимых тестовых и измерительных приборов для настроек и контроля транспортной сети;
- оптимизация сети при наличии соответствующих программных средств;
- составление ведомостей комплектации узлов;
- оценка технико-экономических показателей;
- оценка требуемого уровня эксплуатации проектируемой сети;
- составление схем размещения оборудования в узлах сети и прокладки необходимых кабелей;
- учет энергозатрат оборудования в каждом узле.

Разумеется, предлагаемый порядок разработки проекта приблизителен и может пересматриваться в зависимости от условий. Выполнение указанных этапов позволяет специалистам получить достаточно полное представление об оптической транспортной сети.

Контрольные вопросы

1. Какие принципы определяют планирование транспортной сети?
2. Какие виды нагрузок (пользовательского трафика) должны учитываться при проектировании транспортной сети?
3. Что показывает общая схема формирования нагрузки оптической транспортной сети?
4. Чем характеризуются пользовательские интерфейсы аппаратуры транспортных платформ?
5. Чем характеризуются интерфейсы оптических транспортных платформ для межузловых взаимодействий?
6. Чем определяется дальность оптической передачи по стекловолокну?
7. Какие особенности необходимо учитывать при проектировании линейных трактов многоволновых систем передачи между узлами транспортной сети?
8. Чем отличаются обозначения многоволновых интерфейсов по спецификациям G.692, G.695, G.959.1?
9. С какой целью оценивается OSNR?
10. Какие разновидности существуют в реализации многоволновых интерфейсов?
11. Что учитывают коммутационные и алгоритмические возможности транспортных платформ?
12. Каков порядок разработки проекта транспортной сети?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, продолжается интенсивное развитие техники и технологий оптических систем передачи и транспортных сетей. Этому посвящено учебное пособие, где показаны в обзорном варианте тенденции развития. Как относится специалистам к этим тенденциям? Конечно, изучать и следить за всем ходом развития от услуг и компонентов аппаратуры до сетевых решений. Поток информации о нововведениях и совершенствованиях в технике систем передачи и транспортных сетей не ослабевает. Ведущие производители сетевого оборудования все время совершенствуют технику, выполняя её модульной и легко перекофигурируемой под потребности операторов. Увеличиваются скорости передачи цифровых данных в одном оптическом канале до 40–100 Гбит/с. Растет число волновых каналов, образуемых методом WDM. При этом совершенствуются и разрабатываются новые виды модуляции оптических несущих частот (NRZ-DPSK, NRZ-DQPSK, RZ-DPSK, CS-RZ и т.д.), позволяющие эффективнее использовать полосу частот передачи в стекловолокне, снижать мощность оптической несущей частоты и тем отодвигать возможные нелинейные эффекты. Разрабатываются быстродействующие оптические коммутаторы с временем переключения в единицы пс, которые позволяют коммутировать оптические пакеты данных. Совершенствуются оптические интегральные мультиплексоры ROADM по защищенности волновых каналов, скорости реконфигурации, стоимости. Продолжают разрабатываться и внедряться новые стандарты на передачу Ethernet 100Гбит/с, стандарты на сети ASON и T-MPLS. Поставляемые на рынок телекоммуникаций образцы мультисервисных транспортных платформ содержат опции 10Гбит Ethernet, ASON, GMPLS, RPR, GFP, LCAS и т.д. Ведутся интенсивные исследования методов статической и динамической маршрутизации оптических волновых каналов для реализации полностью оптических транспортных маршрутов.

Этот перечень направлений по развитию транспортных сетей можно продолжать ещё на несколько страниц заключения, но уже понятно, что охватить небольшим учебным пособием все направления невозможно. Автор надеется, что содержание учебного пособия поможет понять специалистам и студентам необходимые положения по развитию техники систем передачи и транспортных сетей и ориентироваться в перспективах.

Приложение

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

№ п/п	Обозначение	Название элемента	Назначение, применения
1		Волоконный световод	
2		2-х волоконная оптическая линия	Встречная передача сигналов в волокнах
3		Регенератор в линии с оборудованием SDH	S и R — стандартные точки, определённые рекомендациями МСЭ-Т G.957, G.958, стыки аппаратуры и волоконно-оптических линий
4		Сетевой элемент для ввода и выделения	Наделен функцией доступа к отдельным каналам VC-4 через встроенную коммутационную матрицу (#) и функциями защиты секции мультиплексирования (1+1 или 1:1)
5		Сетевой элемент	Используется для виртуально сцепленных виртуальных контейнеров высокого уровня VC-4-Xv
6		Кроссовый коммутатор оптических каналов	
7		Сетевой элемент с регенераторами	Пример упрощенного обозначения
8		Сетевой элемент SDH-мультиплексора ввода/выделения	Обеспечивает организацию транзитных соединений трактов с точками подключения оптических передатчиков S и приемников R
9		Сетевой элемент SDH-мультиплексора ввода/выделения	Обеспечивает организацию транзитных соединений трактов и доступ к отдельным соединениям трактов с точками подключения оптических передатчиков S и приемников R
10		Тактовый генератор с внешней принудительной синхронизацией	

Список сокращений

AAL ATM Adaptation Layer — уровень адаптации ATM

ABR Available Bit Rate — доступная скорость передачи двоичных данных

ACR Allowed Cell Rate — допустимая скорость передачи ячеек

ACSE Association Control Service Element — сервисный элемент услуги управления ассоциацией

ACT Activation (for ODUk TCM trail) — активация функций контроля тандемного соединения тракта ODUk

ADM Add-Drop Multiplexer — мультиплексор ввода-вывода

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия

AIP Alarm Interface Panel — интерфейсная панель сообщений об авариях

AIS Alarm Indication Signal — сигнал индикации аварийного состояния

AL Alignment — поле выравнивания

ANSI American National Standards Institute — Американский национальный институт стандартов

AP Access Point — точка доступа

APD Avalanche Photodiode — лавинный фотодиод

API Access Point Identifier — идентификатор точки доступа

APS Automatic Protection Switching — автоматическое защитное переключение

APS/PCC Automatic Protection Switching/ Protection Communication Channel — автоматическое защитное переключение/ защищаемый канал связи

ASON Automatic Switched Optical Network — автоматически коммутируемая оптическая сеть, стандарт МСЭ-Т

ASN Abstract Syntax Notation One — абстрактное описание синтаксиса

ASTN Automatic Switched Transport Network —автоматически коммутируемая транспортная сеть

ATM Asynchronous Transfer Mode — асинхронный режим передачи

AU Administrative Unit — административный блок

AUG Administrative Unit Group — группа административных блоков

AUG-n Administrative Unit Group *n* — групповой административный блок порядка *n* (*n* = 4, 16, 64, 256)

AU-n Administrative Unit *n* — административный блок порядка *n* (*n* = 3, 4)

AU-PTR Administration Unit pointer — указатель административного блока

AWG Arrayed Waveguide Grating — дифракционная решетка на волноводном массиве

BAS Buffer Allocation Size — размер буфера

BDI Backward Defect Indication — индикация дефекта в обратную сторону

BDI-O BDI-Overhead — индикация дефекта в обратную сторону для заголовка

BDI-P BDI-Payload — индикация дефекта в обратную сторону для нагрузки

BECN Backward Explicit Congestion Notification — схема с отрицательной обратной связью назад

BEI Backward Error Indication — индикация в обратную сторону

BER Bit Error Rate — коэффициент ошибок, частота появления ошибок по битам

BI Backward Indication — индикация в обратную сторону

BIAE Backward Incoming Alignment Error — сообщение об ошибке выравнивания по входу в обратное направление

BIP Bit Interleaved Parity — чётность чередующихся битов

BLSR Bidirectional Line-Switched Ring — двунаправленное кольцо с защитным переключением линейных сегментов

BT Begin Tag — поле начала

C-n Container-n — контейнер порядка *n* = 1, 2, 3, 4

CAD Cell Assembly/ Reassembly Delay — отклонение во времени при сборке/ разборке ячеек

CBR Constant Bit Rate — постоянная битовая скорость

CCAT Contiguous Concatenation — последовательная сцепка (конкатенация)

CCI Connection Control Interface — интерфейс управления соединением

CDV Cell Delay Variation — вариация задержки ячейки

CER Cell Error Ratio — коэффициент ошибок по ячейкам

cHEC core HEC — основной контроль ошибок заголовка

CI Characteristic Information —характеристическая информация

CLP Cell Loss Priority — бит приоритета потери ячейки

CLR Cell Loss Ratio — коэффициент потерь ячеек

CM Connection Monitoring — наблюдение соединения

CMEP Connection Monitoring End Point — конечная точка контроля (наблюдения) соединения

CMI Complemented Mark Inversion — инверсия групп символов

CMIP Common Management Information Protocol — протокол общей управляющей информации

CMISE Common Management Information Services Element — сервисный элемент получения общей управляющей информации

CMON Connection Monitoring Overhead — заголовок слежения за соединением

CMR Cell Misinsertion Rate — коэффициент неправильных ячеек

COMMSOH Communications channel Overhead — заголовок канала связи

CORBA Common Object Request Broker Architecture — общая архитектура брокера объектных запросов

CoS/SLAs Class of Service/Service-Level-Agreement — класс сервиса/ соглашение о (гарантированном) уровне обслуживания

CPI Common Part Indicator — индикатор общей части

CRC Cyclic Redundancy Check — циклический избыточный код

CR-LDP Constraint-based Routing Label Distribution Protocol — протокол распределения меток маршрута с учетом ограничений

CS Convergence Sublayer — подуровень конвергенции (слияния)

CSF Client Signal Fail — повреждение сигнала пользователя

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий/столкновений

C-Tag Customer Tag —метка пользователя сети Ethernet

CTD Cell Transfer Delay — задержка передачи ячейки

CTRL Control word sent from source to sink — контрольное слово, передаваемое от источника к приемнику

CTRL LCAS Control Word — слово контроля согласования с емкостью линии передачи

CWDM Coarse Wavelength Division Multiplexing — разреженное мультиплексирование с разделением по длине волны

DA Destination Address — адрес назначения

DAPI Destination Access Point Identifier — идентификатор точки доступа адресата

DCC Data Communication Channel — канал передачи данных

DCCm Data Communication Channel multiplex — канал передачи данных для секции мультиплексирования SDH

DCCr Data Communication Channel regeneration — канал передачи данных для секции регенерации SDH

DCF Dispersion Compensation Fiber — волокно, компенсирующее дисперсию

DCN Data Communication Network — сеть передачи данных

DEG Degraded — ухудшение

DL Data Link — данные линии

DeMUX DeMultiplex — демультиплексирование

DFB Distributed Feedback —распределённая обратная связь

DMod Demodulation — демодуляция

DNU Do Not Use — не использовать (не применять)

DPT Dynamic Packet Transport — динамический транспорт пакетов

DQDB Distributed Queue Double Bus — распределённая двойная шина с очередями

DS Defect Second — повторный дефект

DS-O DS Overhead — повторный дефект заголовка

DS-P DS Payload — повторный дефект нагрузки

DXC Digital xCross Connect — цифровая кроссовая коммутация

DVB ANSI Digital Video Broadcast — цифровое широкополосное видео (американский стандарт)

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing — плотное мультиплексирование с разделением по длине волны

E1 цифровой поток данных на скорости 2048 кбит/с с циклом 125 мкс , стандарт PDH

E2 цифровой поток данных на скорости 8448 кбит/с с циклом 100 мкс , стандарт PDH

E3 цифровой поток данных на скорости 34368 кбит/с с циклом 47 мкс , стандарт PDH

E4 цифровой поток данных на скорости 139264 кбит/с с циклом 21 мкс , стандарт PDH

E-APS Ethernet APS — автоматическая защитная коммутация в сети Ethernet

ECC Embedded Control Channel — встроенный канал управления систем

EDFA Erbium-Doped Fiber Amplifier — эрбиевый оптический усилитель на оптоволокне

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory — электрически стираемая программируемая память

EF Extended Frame — устанавливаемый формат кадра

eHEC extension HEC — расширение HEC

EM Error Monitoring — наблюдение ошибок

EN Edge Nodes — узлы на границе сети

E-NNI External—Network—Network Interface — внешний межсетевой интерфейс («сеть–сеть»)

EoA Ethernet-over-ATM — Ethernet через ATM

EoM Ethernet-over-MPLS — Ethernet через MPLS

EoP Ethernet-over-PDH — Ethernet через PDH

EoR Ethernet-over-RPR — Ethernet через RPR

EoS Ethernet-over-SDH — Ethernet через SDH

EoT Ethernet-over-Transport — интерфейс транспортной сети Ethernet

EPD Early Packet Discard — ранний сброс пакетов

EPROM Erasable Programmable Read-Only Memory — стираемая программируемая память

ESL Extended Signal Label — установленная сигнальная метка

ET End Tag — конечная метка

ETSI European Telecommunications Standards Institute — Европейский институт стандартизации телекоммуникаций

EXI Extension Header Identifier — идентификатор расширения заголовка

EDC Error Detection Code — код обнаружения ошибки

EOS End of Sequence — окончание последовательности

EPRA Enhanced PRCA — улучшенный PRCA

ESCON Enterprise Systems Connection — соединение учрежденческих систем

ESL Extended Signal Label — установка сигнальной метки

ET End Tag — поле конца

ETHP Ethernet end-to-end Path — тракт Ethernet из конца в конец

ETHS Ethernet Segment monitoring — тракт Ethernet с сегментным мониторингом

EXI Extension Header Identifier — идентификатор расширения заголовка

EXP Experimental — экспериментальный

ExTI Expected Trace Identifier — идентификатор ожидания отслеживания (трассировки)

FA Frame Alignment — выравнивание кадра (иногда цикла)

FAS Frame Alignment Signal — сигнал выравнивания цикла или кадра (синхросигнал, указывающий на начало цикла или кадра)

FCS Frame Check Sequence — поле контрольной суммы кадра

FDDI Fiber Distributed Data Interface — волоконный распределённый интерфейс данных

FDI Forward Defect Indication — индикация дефекта вперед

FDI-O Forward Defect Indication Overhead — заголовок с индикацией дефекта вперед

FDI-P Forward-Payload — индикация дефекта нагрузки вперед

FE Fairness Eligible — индикация неправильно выбранного пакета

FEC Forward Error Correction — коррекция ошибок вперед (по ходу передачи) или упреждающая коррекция ошибок

FECN Forward Explicit Congestion Notification — схема с отрицательной обратной связью вперед

FI Flooding Indication — индикация занятия (колец RPR)

FICON FIber CONnection — волоконное соединение для передачи данных;

FIFO First In First Out — первый на входе первый на выходе

FSC Fiber-Switch Capable — возможность коммутации волоконных световодов

FT Frame Type — типа кадра

FTFL Fault Type and Fault Location reporting communication channel — сообщение о типе и месте повреждения и трансляции локального повреждения канала связи

FTTx Fiber to the x — волокно до (места X)

GARP Generic Attribute Registration Protocol — протокол для регистрации типовых атрибутов

GbE гигабитный Ethernet

GC General purpose communications Channel — канал с целью общей связи.

GCC General Communication Channel — общий канал связи

GFC Generic Flow Control — общее управление потоком в ATM

GFP Generic Framing Procedure — общая процедура формирования кадра

GFP-T GFP, Transparented — общая процедура формирования кадра прозрачно (для данных)

GFP-F GFP, Frame mapped — общая процедура формирования кадра с размещением кадров (данных)

GFR Guaranteed Frame Rate — гарантированная скорость передачи кадров

GID Group Identification — идентификация группы

GMPLS Generalized MultiProtocol Label Switching — общая многопротокольная коммутация по меткам

GoS Grade of Service — категория обслуживания

GPS Global Position System — глобальная система позиционирования

HDB-3 High Density Bipolar of Order 3 — трёхуровневый биполярный код с высокой плотностью

HDLC High-Level Data Link Control — высокоуровневый протокол управления на уровне звена передачи данных

HDSL High bit rate Digital Subscriber Line — высокоскоростная цифровая абонентская линия

HDTV High-Difinition Television — цифровое телевидение высокой четкости

HEC	Header Error Control — контроль ошибок заголовка
HOVC	Higher Order Virtual Container — виртуальный контейнер верхнего уровня
HP	High Path — тракт высокого порядка
IaDI	Intra-Domain Interface — внутридоменный интерфейс
IAE	Incoming Alignment Error — ошибка выравнивания по входу
IDU	Interface Data Unit — интерфейсный блок данных
IrDI	Inter-Domain Interface — интерфейс между областями (доменами)
IEC	Incoming Error Count — подсчет поступающих ошибок
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers — Институт инженеров по электротехнике и электронике
I-NNI	Internal Network-Network Interface —внутренний интерфейс сеть–сеть
IPX	Internet Packet eXchange — межсетевой обмен пакетами
IP	Internet Protocol — межсетевой протокол
IrDI	Inter Domain Interface — интерфейс между доменами
iSCSI	internet Small Computer System Interface — межсетевой малый интерфейс компьютерной системы
ISO	International Organization for Standartization — Международная организация по стандартизации
ITU-T	International Telecommunications Union — Telecommunications services sector — сектор телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т)
JC	Justification Control — управление выравниванием
JOH	Justification Overhead — заголовок выравнивания
LAPS	Link Access Procedure SDH — процедура доступа к линии SDH
LAPD	Link Access Procedure D — процедура доступа к каналу D
LAN	Local Area Network — локальная компьютерная сеть
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme — схема регулировки емкости канала
LI	Length Indicator — индикатор длины
LLC	Logical Link Control — управление логическим каналом
LLID	Logical Link Identificator — логический идентификатор линии
LOF	Loss of Frame — потеря фрейма/кадра
LOM	Loss of Multiframe — потеря сверхцикла/мультифрейма
LOP	Loss of Pointer — потеря указателя
LOS	Loss of Signal — потеря сигнала
LOVC	Lower Order Virtual Container — виртуальный контейнер низшего уровня
LOV Con	Low Order Virtual Concatenation — виртуальная сцепка нижнего уровня
LP	Low Path — тракт нижнего уровня
LRM	Link Resource Manager — управление ресурсом линии
LSP	Label Switched Path — коммутируемый по меткам тракт передачи
LSR	Label Switch Router — маршрутизатор с коммутацией по меткам
L/T	Length/Type — длина или тип
LSC или λSC	Lambda Switch Capable — возможность коммутации волн (оптических каналов)
MA	Maintenance and Adaptation — обслуживание и адаптация
MAC	Media Access Control — управление доступом к среде
MAN	Metropolian Area Network — городская сеть
MBS	Maximum Burst Size — максимальная длина пачки
MF	Mediation Function — функции медиатора (промежуточного устройства)
MFAS	Multiframe Alignment Signal — сигнал выравнивания (синхронизация) мультифрейма (сверхцикла)
MFI	MultiFrame Indicator — индикатор сверхцикла
MIB	Management Information Base — база данных управляющей информации

MID Multiplexing Identifier — идентификатор мультиплексирования

MIT Management Information Tree — дерево управляющей информации

MoE T-MPLS over Ethernet — T-MPLS через сеть Ethernet

MoO T-MPLS over OTH — T-MPLS через сеть OTH

MoP T-MPLS over PDH — T-MPLS через сеть PDH

MoR T-MPLS over RPR — T-MPLS через сеть RPR

MoS T-MPLS over SDH — T-MPLS через сеть SDH

MPCP Multi-Point Control Protocol — протокол управления множеством узлов

MPLS Multi-Protocol Label Switching — многопротокольная коммутация по меткам

MPλS Multiprotocol Lambda Switching — многопротокольная коммутация оптической волны

MPI-R Main Path Interfaces — R, интерфейс основного тракта на приёме

MPI-S Main Path Interfaces — S, интерфейс основного тракта на передаче

MS Multiplex Section — секция мультиплексирования

MS Maintenance Signal — сигнал обслуживания

MSI Member Status — статус участника

MSOH Multiplex Section Overhead — заголовок секции мультиплексирования

MS-REI Multiplex Section Remote Error Indication — индикация ошибки удаленной стороны секции мультиплексирования

MS-SPRing Multiplex Section Shared Protected Rings — защита секции мультиплексирования в кольцевой сети

MST Member Status field — поле статуса участника

MST Multiplex Section Termination — окончание секции мультиплексирования

MUX Multiplex — мультиплексирование

NDF New Data Flag — флаг новых данных

NEF Network Element Function — функции сетевого элемента

NGN Next Generation Networks — сети следующего поколения

N-ISDN Narrowband Integrated Services Digital Network — узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (У-ЦСИС)

NJO Negative Justification Opportunity — возможность отрицательного согласования (скорости)

NM Network Management — управление сетью

NMI Network Management Interface — интерфейс сетевого управления

NMS Network Management System — система управления сетью

NNI Network-Network Interface — интерфейс между сетями

NNI Network Node Interface — интерфейс узла сети

NORM Normal Operating Mode — режим нормального функционирования (работы, обработки)

NPI Null Pointer Indication — индикация нулевого указателя

NR Network Operator — оператор сети

nrt non real time — нереальное время

NRZ Non Return to Zero — кодирование без возвращения к нулю

NSAP Network Service Access Point — точка доступа сетевого сервиса

OA Optical Amplifier — оптический усилитель

OADM Optical Add/Drop Multiplex — оптический мультиплексор ввода/вывода

OAM Operation, Administration, Maintenance — эксплуатация, управление администрирование и техническое обслуживание

OCC Optical Channel Carrier — несущая оптического канала

OCCo Optical Channel Carrier-overhead — заголовок несущей оптического канала

OCCp OCC-payload — нагрузка несущей оптического канала

OCCr OCC with reduced functionality — несущая оптического канала с упрощенными функциями

OCDM Optical Code Division Multiplexing — оптическое мультиплексирование с кодовым разделением

OCh Optical Channel with full functionality — оптический канал с полной функциональностью

OChr OCh reduce functionality — оптический канал с упрощенной функциональностью

OCG-n Optical Carrier Group of order n — группирование оптических несущих частот порядка n

OCI Open Connection Indication — индикация открытого соединения

OCXO Oven-Controlled Crystal Oscillator — термостатированный кварцевый генератор

ODI Outgoing Defect Indication — индикация дефекта на выходе

ODMX Optical DeMultiplex — оптический демультиплексор

ODTUG Optical channel Data Tributary Unit Group — группа компонентных блоков данных оптического канала

ODUk Optical Channel Data Unit k — блок данных оптического канала порядка k

ODUk-TCM ODUk Tandem Connection Monitoring — блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандемных) соединений

ODUk-Xv X virtually concatenated ODUks — виртуальная сцепка *X*-блоков ODUks

OEI Outgoing Error Indication — индикация блоковых ошибок по выходу

OH Overhead — заголовок

OMS Optical Multiplex Section — секция оптического мультиплексирования

OMS-OH Optical Multiplex Section Overhead — заголовок секции оптического мультиплексирования

OMU Optical Multiplex Unit — блок оптического мультиплексирования

OMX Optical Multiplexer — оптический мультиплексор

ONMI Optical Network Node Interface — интерфейс узла оптической сети

OOC Optical Connection Controller — контроллер оптических соединений

OOS OTM Overhead Signal — сигнал заголовка оптического транспортного модуля

OPS Optical Physical Section — оптическая физическая секция

OPUk Optical channel Payload Unit k — блок полезной нагрузки оптического канала порядка k

OPUk-Xv X virtually concatenated ODUks — виртуальная конкатенация *X*-блоков ODUks

OSC Optical Supervisory Channel — контролирующий оптический канал

OSI Open System Interconnection — взаимодействие открытых систем

OSNR Optical Signal-to-Noise Ratio — отношение оптический сигнал/шум

OTDM Optical Time Division Multiplexing — оптическое мультиплексирование с временным разделением

OTH Optical Transport Hierarchy — оптическая транспортная иерархия

OTM Optical Transport Module — оптический транспортный модуль

OTN Optical Transport Network — оптическая транспортная сеть

OTS Optical Transmission Section — оптическая транспортная секция

OTS-OH OTS-Overhead — заголовок оптической транспортной секции

OTUk Optical Transport Unit k — оптический транспортный блок порядка *k*

OXC Optical xCross Connect — оптическая кроссовая коммутация (λ — коммутация)

PAD Padding — поле заполнения недостающего пространства кадра

PC Protocol Controller — контроллер протокола

PCC Protection Communication Channel — канал защиты соединения

PCR Peak Cell Rate — пиковая скорость ячеек

PCS Physical Coding Sublayer — подуровень физического кодирования

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy — плезиохронная цифровая иерархия

PDU Packet Data Unit — блок пакетных данных

PDU Protocol Data Unit — протокольный блок данных

pFCS payload Frame Check Sequence field — поле завершения пользовательской нагрузки

PFI Payload FCS Identifier — идентификатор наличия контрольной суммы поля полезной нагрузки

PJO Positive Justification Opportunity — положительное согласование скорости

PLCP Physical Layer Convergence Procedure — процедура слияния с физическим уровнем

PLD Payload — нагрузка

PLI PDU Length Indicator — индикатора длины протокольного пользовательского блока данных

PLM Payload Mismatch — несоответствие полезной нагрузки

PM Path Monitoring — наблюдение тракта

PMI Payload Missing Indication — индикация пропадания нагрузки

PMOH Path Monitoring Overhead — заголовок наблюдения тракта

ppm part per million — миллионная доля

PNNI Private Network Node Interface — частный интерфейс сетевого узла

PNNI Private Network-to-Network Interface — интерфейс между частными сетями

POH Path Overhead — трактовый (маршрутный) заголовок

PON Passive Optical Network — пассивная оптическая сеть

PPP Point-to-Point Protocol — протокол «точка–точка»

PRBS Pseudo Random Binary Sequence — псевдослучайная бинарная последовательность

PRC Primary Reference Clocs — первичный эталонный (тактовый) генератор

PRCA Proportional Rate Control Algorithm — алгоритм положительной обратной связи с пропорциональным управлением

PROM Programmable Read-Only Memory — стираемая энергонезависимая память

PS Passed Source — пропущенный источник (пакетов)

PSC Packet Switch Capable — возможность пакетной коммутации

PSI Payload Structure Identifier — идентификатор структуры нагрузки

PT Payload Type — тип нагрузки

PTI Payload Type Identifier — идентификатор типа полезной нагрузки

PTR Pointer — указатель

PVC Permanent Virtual Circuit — постоянный виртуальный канал

QAF Q-Adapter Function — функция Q-адаптера;

QoS Quality of Service — качество обслуживания (сервиса)

1R Re-amplification — восстановление амплитуды (усиление)

2R Re-amplification, Re — shaping — усиление и восстановление формы

3R Re-amplification, Re — shaping, Retiming — усиление, восстановление формы и устранение фазовых дрожаний

RAM Random Access Memory — память с произвольным доступом, энергонезависимая память данных, статическая

RC Routing Controller — контроллер маршрутизации;

RCD Routing Control Domain — область (домен) управления маршрутизацией

RCD Receive Clock Deviation — отклонение полученного синхросигнала (от нормы)

RDB Routing Information Database — база данных информации маршрутизации.

RDI Remote Detect Indication — индикация дефекта на удаленном конце

REI Remote Error Indication — индикация ошибки на удаленном конце

RES Reserved (for future international standartization) — резерв (для будущей международной стандартизации)

RFC Request For Comments — запрос для комментариев

RFI Remote Failure Indication — индикация неисправности удаленном конце

RI Ring Identifier — идентификатор кольца

RLL Radio Local Loop — система абонентского радиодоступа

ROADM Reconfigurate OADM — перестраиваемый OADM

ROM Read Only Memory — постоянное запоминающее устройство

ROSE Remote Operation Services Element — элемент обслуживания удаленных операций

RP Routing Performer — исполнитель маршрутизации

RPR Resilient Packet Ring — защищаемое пакетное кольцо или пакетное кольцо с самовосстановлением

RS Reed-Solomon — Рид-Соломон (блок кодера-декодера Рида-Соломона)

RSA Re-Sequence Acknowledge — восстановление последовательности

RS-Ack Re-Sequence Acknowledge — подтверждение восстановления последовательности

RSOH Regeneration SOH — заголовок секции регенерации

RST Regenerator Section Termination — окончание секции регенерации

RSVP-TE Resource Reservation Protocol — Traffic Engineering — протокол резервирования ресурсов — проектирование трафика

rt real time, реальное время

SA Source Address — адрес источника

SANs Storage Area Networks — сети хранения данных (серверы услуг, базы данных)

SAPI Source Access Point Identifier — идентификатор источника (передатчика) точки доступа

SAPI Service Access Point Identifer — идентификатор точки доступа к сервису

SAR Segmentation and Reassambly Sublayer — подуровень сегментации и сборки

SAR-PDU Segmentation and Reassambly Sublayer — Protocol Data Unit — протокольный блок данных для подуровня сегментации и сборки

SC Service Class — класс обслуживания

SCR Sustainable Cell Rate — поддерживаемая скорость ячеек

SDH Synchronous Digital Hierarchy — синхронная цифровая иерархия

SDXC Synchronous Digital Cross-Connect — синхронный цифровой кроссовый коммутатор

SE CBR Severely Errored Cell Block Ratio — отношение блоков ячеек с серьёзными ошибками к общему числу блоков ячеек ATM

SETS SDH Equipment Timing Source — источник тактов аппаратуры SDH

SFD Start Frame Delimiter — начальный ограничитель кадра

SL Signal Label — метка сигнала

SLA Service Level Agreement — соглашение о (гарантированном) уровне обслуживания

SM Section Monitoring — наблюдение секции

SMOH Section Monition OH — заголовок секции наблюдения

SMX Synchronous Multiplexer — синхронный мультиплексор

SN Segment Number — порядковый номер

SNAP Subnetwork Access Protocol — протокол доступа в подсеть

SNC Subnetwork Connection — соединение подсети

SNC/P Subnetwork Connection Protection — резервирование/защита соединения подсети

SNC/I Inherently monitored Subnetwork Connection protection — резервирование/защита на уровне соединения подсетей с внутренним мониторингом

SNC/N Non-intrusively Monitored Subnetwork Connection protection — резервирование/защита на уровне соединения подсетей без внутреннего мониторинга

SNC/S Sublayer (tandem connection) monitored Subnetwork Connection protection — резервирование/защита на уровне соединения подсетей с внутренним мониторингом тандемного соединения

SNMP Simple Network Management Protocol — простой протокол управления сетью

SNPP Subnetwork Point Pool — идентификатор пункта пула подсети

SO Strict Order — нарушение порядка

So Source — источник (передатчик)

SOH Section Overhead — секционный заголовок

SOLITON уединенная волна

SONET Synchronous Optical Network — синхронная оптическая сеть

SOP Start of Packet — начало кадра

SPI SDH Physical Interface — физический интерфейс SDH

SQ Sequence indicator — индикатор последовательности

SRC Second Reference Clocks — вторичный тактовый генератор

SRP Spatial Reuse Protocol — протокол повторного использования полосы пропускания

SRTS Synchronous Residual Time Stamps — синхронная остаточная метка времени (расхождения во времени)

SSF Server Signal Failure — пропадание/ошибка сигнала сервера

S-Tag Service provider Tag — метка провайдера сети Ethernet

ST Segment Type — тип сегмента

STAT Status — состояние

STM-N Synchronous Transport Module N — синхронный транспортный модуль порядка $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$

STP Spanning Tree Protocol — протокол «охвата деревьев»

SVC Switched Virtual Circuit — коммутируемый виртуальный канал

TC Tandem Connection — тандемное соединение

TC-API Tandem Connection Access Point Identifier — идентификатор точки доступа тандемного соединения

TCM Tandem Connection Monitoring — наблюдение (мониторинг) тандемного соединения

TCMOH TCM Overhead — заголовок наблюдения тандемного соединения

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol — протокол управления передачей данных/ межсетевой протокол

TC-RDI Tandem Connection RDI — индикация дефекта на удаленном конце тандемного соединения

TC-REI Tandem Connection REI — индикация блоков ошибок на удаленном конце тандемного соединения

TCXO Temperature Compensated Crystal Oscillator — кварцевый генератор с температурной компенсацией

TDM Time-Division Multiplex — мультиплексирование с разделением во времени

tHEC type HEC — тип HEC

TIM Trace Identifier Mismatch — несоответствие идентификатора маршрута

TM Terminal Multiplex — терминальный (оконечный) мультиплексор

TMN Telecommunications Management Network — сеть управления телекоммуникациями (электросвязью)

T-MPLS Transport Multiprotocol Label Switching — транспортная многопротокольная коммутация по меткам

T-MPLSP Transport Multiprotocol Label Switching end-to-end path supervision — транспортная многопротокольная коммутация по меткам с контролем тракта из конца в конец

T-MPLST Transport Multiprotocol Label Switching tandem connection monitoring — транспортная многопротокольная коммутация по меткам с мониторингом тандемного соединения

TP Termination Point — точка терминирования (окончания)

TPD Tail Packet Discard — сброс остатков пакета, в сети OTN означает транспондер (TPD)

TR Trail Trace — метка тракта

TS Tributary Slot — компонентный слот

TSF Trail Signal Fail — сигнал повреждения тракта

TTI Trail Trace Identifier — идентификатор маршрута тракта

TTL Time to Live — время жизни

TU-n Tributary Unit-n — компонентный блок уровня n

TUG-n Tributary Unit Group n — групповой компонентный блок уровня n

TxTI Transmitted Trace Identifier — переданный идентификатор тракта

UBR Unspecified Bit Rate — неопределенная битовая скорость

UDP User Datagram Protocol — дейтаграммный протокол пользователя

UI Unit Interval — единичный интервал

UNI User-to-Network Interface — интерфейс пользователь–сеть

UPI User Payload Identifier — идентификатор пользовательской нагрузки

UU User-to-User - пользователь пользователю

VBR Variable Bit Rate — переменная скорость в битах

VCAT Virtual Concatenation — виртуальная сцепка (конкатенация)

VC-n Virtual Container-n — виртуальный контейнер порядка $n = 1, 2, 3, 4$

VCG Virtual Concatenation Group — группа виртуальной конкатенации

VCI Virtual Circuit Identifier — идентификатор виртуального канала

VCOH Virtual Concatenation Overhead — заголовок виртуальной конкатенации

VCPT Virtual Concatenated Payload Type — тип нагрузки виртуальной конкатенации

VDSL Very high-bit-rate DSL — сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия

VHDSL Very High data rate DSL — цифровая абонентская линия с очень высокой скоростью передачи данных

VOA Variable Optical Attenuator — регулируемый оптический аттенюатор

VPI Virtual Path Identifier — идентификатор виртуального пути

WAN Wide Area Network — глобальная (территориальная) распределённая сеть

WDM Wavelength Division Multiplexing — мультиплексирование с разделением по длине волны

WE Wrap Eligible — возможность упаковки

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access (Wireless MAN Exchange) — международное взаимодействие для микроволнового доступа (беспроводная городская сеть обмена сообщениями)

WS Work Station — рабочая станция

WSF Work Station Function — функции рабочей станции сети управления

WSS Wavelength Selective Switch — селективный волновой коммутатор

АРСС автоматическая распределительная система синхронизации

АТС автоматическая телефонная станция

АЦП аналогово-цифровой преобразователь

БХЧ Боуза-Чоудхури-Хоквенгема (кодирование)

ВЗГ вторичный задающий генератор

ВЦК вторичный цифровой канал

ГСЭ генератор сетевого элемента

ГУН генератор, управляемый напряжением

ЕСС Единая Сеть Связи

ИКМ импульсно-кодовая модуляция
ИУ интегрирующий усилитель
КТЧ канал тональной частоты
КЭ коммутационный элемент
ЛФД лавинный фотодиод
ММВ многомодовое волокно
МСЭ-Т сектор Телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи МСЭ-Т
ОКС № 7 общеканальная сигнализация №7
ОМВ одномодовое волокно
ОУс оптические усилители
ОЦК основной цифровой канал
ПМД поляризационная модовая дисперсия
ПОМ передающий оптический модуль
ПрОМ приемный оптический модуль
ПЦК первичный цифровой канал
ПЭГ первичный эталонный генератор
ПЭИ первичный эталонный источник
СЭ сетевой элемент
ТИУ трансимпедансный усилитель
ТСС тактовая сетевая синхронизация
ТЦК третичный цифровой канал
У-ЦСИС узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ЦАП цифро-аналоговые преобразователь
ЦСИС цифровая сеть с интеграцией служб
ЦСИУ цифровая сеть с интеграцией услуг
ЧЦК четверичный цифровой канал
Ш-ЦСИС широкополосная ЦСИС
ЭАМТС электронная автоматическая междугородняя телефонная станция

Литература

1. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризоновых первичных сетей. М.: Министерство связи Российской Федерации. 1996.
2. *Андрэ Жирар*. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. Пер. с англ. — М.: EXFO, 2001.
3. *Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В.* Оптические волокна для линий связи. — М.: ЛЕСАР Арт, 2003.
4. *Фриман Р.* Волоконно-оптические системы связи. — М.: Техносфера, 2003.
5. РД 45.286-2002. Аппаратура волоконно-оптической системы передачи со спектральным разделением. Технические требования. — М.: ЦНТИ «Инфраструктура», 2002.
6. *Бернард Скляр.* Цифровая связь. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
7. *Столлингс В.* Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
8. *Агравал Г.* Нелинейная волоконная оптика. Перев. с англ. — М.: Мир, 1996.
9. *Гончаров А.А., Светиков В.В., Свидзинский К.К. и др.* Интегрально-оптическое устройство спектрального уплотнения и разуплотнения каналов связи // Радиотехника, 2004, № 12. — С. 54–60.
10. *Govind P. Agrawal.* Fiber-Optic Communication systems, 3rd Edition. Wiley&Sons, 2002.
11. *Убайдуллаев Р.Р.* Волоконно-оптические сети. — М.: Эко-Трендз, 1998.
12. *Назаров А.Н., Симонов М.В.* ATM: технология высокоскоростных сетей. — М.: Эко-Трендз, 1998.
13. *Ершов В.А., Кузнецов Н.А.* Мультисервисные телекоммуникационные сети. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
14. *Стефано Брени.* Синхронизация цифровых сетей связи: Пер. с англ. — М.: Мир, 2003.
15. ITU-T G.803. Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH), 2000.
16. ITU-T G.707. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH), 2007.
17. ITU-T G.783. Characteristics of SDH Equipment Functional Blocks, 2004.
18. ITU-T G.709/Y1331. Interfaces for the Optical Transport Networks (OTN), 2001.
19. ITU-T G.7041/Y.1303 Generic Framing Procedure (GFP), 2003.
20. ITU-T G.8010/Y.1306. Architecture of Ethernet Layer Networks, 2004.
21. ITU-T X.86/Y.1323. Ethernet over LAPS, 2001.
22. ITU-T G.7042. Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for Virtual Concatenated Signals, 2004.
23. ITU-T, G.806. Characteristics of Transport Equipment — Description Methodology and Generic Functionality, 2004.
24. ITU-T, G.957. Optical Interfaces Equipments and Systems Relating to the Synchronous Digital Hierarchy, 1999.
25. ITU-T, G.958. Digital Line Systems Based on the SDH for Use on Optical Fibre Cables, 1994.
26. ITU-T, G.959.1. Optical Transport Network Physical Layer Interfaces, 2001.
27. ITU-T, G.841. Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures, 1998.
28. ITU-T, G.842. Interworking of SDH Network Protection Architectures, 1997.
29. ITU-T, G.784. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management, 1994.
30. ITU-T, G.781. Synchronization Layer Functions, 1999.

31. ITU-T, G.774. SDH Management of the Subnetwork Connection Protection for the Network Element View, 1995.
32. ITU-T G.808.1. Generic Protection Switching — Linear Trail and Subnetwork Protection, 2003.
33. ITU-T G.873.1. Optical Transport Network (OTN): Linear Protection, 2003.
34. ITU-T G.8080/Y.1304. Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON), 2003.
35. ITU-T G.7715.1. ASON Routing Architecture and Requirements for Link State Protocols, 2004.
36. ITU-T G.8010/Y.1306. Architecture of Ethernet Layer Networks, 2004.
37. ITU-T G.8011/Y.1307. Ethernet Services Framework, 2004.
38. ITU-T G.8011.1/Y.1307.1. Ethernet Private Line Service, 2004.
39. ITU-T G.8012/Y.1308. Ethernet UNI and Ethernet NNI, 2004.
40. ITU-T G.8021/Y.1341. Characteristics of Ethernet Transport Networks Equipment Functional Blocks, 2004.
41. ITU-T G.8251. The Control of Jitter and Wander within the Optical Transport Network (OTN), 2001.
42. ITU-T G.809. Functional Architecture of Connectionless Layer Networks, 2003.
43. ITU-T G.652. Characteristics of a Single-mode Optical Fibre and Cable, 2003.
44. ITU-T G.653. Characteristics of a Dispersion-shifted Single-mode Optical Fibre and Cable, 2003.
45. ITU-T G.655. Characteristics of a Nod-zero Dispersion-shifted Single-mode Optical, 2003.
46. ITU-T G.663. Application Related Aspects of Optical Amplifier Devices and Subsystems, 2000.
47. ITU-T G.681. Functional Characteristics of Interoffice and Ling-haul Line Systems Using Optical Amplifiers, Including Optical Multiplexing, 1996.
48. ITU-T G.697. Optical Monitoring for DWDM Systems, 2004.
49. ITU-T G.692. Optical Interfaces for Multi-channels Systems with Optical Amplifiers, 2003.
50. ITU-T G.798. Characteristics of Optical Transport Network Hierarchy Equipment Function Blocks, 2002.
51. *Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В.* Тактовая сетевая синхронизация / Под ред. М.Н.Колтунова. — М.: Эко-Трендз, 2004.
52. Справочные материалы по вводу в эксплуатацию сетей тактовой сетевой синхронизации. — М.: Сайрус Системс, 2001.
53. *Гребешков А.Ю.* Стандарты и технологии управления сетями связи. — М.: Эко-Трендз, 2003.
54. Рекомендация МСЭ-Т I.326. Функциональная архитектура транспортных сетей, базирующихся на АТМ, 2003.
55. ITU-T, O.173. Jitter Measuring Equipment for Digital Systems Which are Based on the Optical Transport Network (OTN), 2003.
56. *Бакланов И.Г.* Технологии измерений первичной сети. Часть 1. Системы Е1, PDH, SDH. — М.: Эко-Трендз, 2000.
57. *Бакланов И.Г.* Технологии измерений первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, B-ISDN, АТМ. — М.: Эко-Трендз, 2000.
58. *Бакланов И.Г.* SDH-NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей. М.: Метротек, 2006.
59. *Скляров О.К.* Волоконно-оптические сети и системы связи. — М.: Солон-пресс, 2004.

60. *Крейкин Р.Б., Цым А.Ю.* Спектральное уплотнение оптических кабелей на транспортной сети ОАО «Ростелеком» // Электросвязь, № 8, 2000.
61. *Потапов В.Т.* Фотонные кристаллы и оптические волокна на их основе // Фотон-экспресс, № 1, 2003.
62. *Ларин Ю.Т., Нестеренко В.А.* Полимерные оптические волокна // ИНФОРМОСТ Радиоэлектроника и телекоммуникации, № 22, 2002.
63. *Медвед Давид Б.* Влияние погодных условий на беспроводную оптическую связь // Вестник связи, № 4, 2001.
64. *Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.* Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 2005.
65. *Слепов Н.Н.* Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2000.
66. *Шмалько А.В.* Цифровые сети связи: основы планирования и построения. — М.: Эко-Трендз, 2001.
67. *Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г.* Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. — М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003.
68. *Слепов Н.Н.* Англо-русский толковый словарь сокращений в области связи, компьютерных и информационных технологий. — М.: Радио и связь, 2005.



Фокин Владимир Григорьевич, в 1978 году закончил Новосибирский электротехнический институт связи. С 1981 года работает в Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики. Доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Многоканальной электросвязи и оптических систем». Автор более 20 учебных пособий и более 30 научных публикаций. Область научных интересов — оптические системы передачи, оптические транспортные сети, сети доступа, развитие элементной базы оптических систем.

Издание для специалистов

Владимир Григорьевич Фокин

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ
Учебное пособие

ЛР № 065232 от 20.06.97
Подписано в печать с оригинал-макета __.__.2008.
Формат 70×100/16. Тираж ____ экз.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. ____. Зак. № _____
Информационно-технический центр «Эко-Трендз».
Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,
121099, Москва, Шубинский пер., 6